

**PROPUESTA DE DISEÑO DE UN PROTOTIPO A ESCALA
CON SISTEMA DE IDENTIFICACIÓN ELECTRÓNICA PARA ASIGNACIÓN DE
PUNTOS DE PARQUEO DE AERONAVES EN LA ZONA OPERATIVA DEL
COMANDO AÉREO DE COMBATE NO.4 EN MELGAR – TOLIMA**

LUIS CARLOS CASTIBLANCO SANABRIA

**UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA
INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES
ESCUELA DE CIENCIAS BÁSICAS, TECNOLOGÍA E INGENIERÍA
SANTAFÉ DE BOGOTÁ
2021**

**PROPUESTA DE DISEÑO DE UN PROTOTIPO A ESCALA
CON SISTEMA DE IDENTIFICACIÓN ELECTRÓNICA PARA ASIGNACIÓN DE
PUNTOS DE PARQUEO DE AERONAVES EN LA ZONA OPERATIVA DEL
COMANDO AÉREO DE COMBATE No.4 EN MELGAR – TOLIMA**

LUIS CARLOS CASTIBLANCO SANABRIA

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de
Ingeniero en Telecomunicaciones

**Directora
Dra. Mónica Andrea Rico Martínez**

**UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA
INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES
ESCUELA DE CIENCIAS BÁSICAS, TECNOLOGÍA E INGENIERÍA
SANTAFÉ DE BOGOTÁ
2021**

Nota de Aceptación

Presidente del jurado

Jurado

Jurado

Bogotá, junio 30 de 2021

A Dios por regalarme la fuerza, sabiduría y permitirme avanzar en mi desarrollo profesional y cumplimiento de las metas propuestas.
A mis padres quienes me dieron vida e invaluable consejos.
A mi esposa e hijos por su respaldo y apoyo incondicional y por su paciencia en los momentos de ausencia.

AGRADECIMIENTOS

El autor presenta un cordial saludo y agradecimiento al personal docente y administrativo de la Facultad de Ingeniería de Telecomunicaciones de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia que, con su aporte académico facilitaron el logro de los objetivos propuestos durante la investigación.

A la señora Ingeniera Angélica Marcela Calderón Valencia por la continua asesoría y acompañamiento, reconociendo que desde el día que me presenté al CEAD de Girardot para el proceso de inscripción, estuvo atenta para apoyar y resolver dudas surgidas durante el proceso formativo.

Al señor Ingeniero Iván Camilo Nieto, evaluador de la propuesta del trabajo de grado, por la oportuna orientación y atención a consultas sobre la metodología, proceso y la evaluación del proyecto aplicado y al señor Ingeniero Raúl Camacho Briñez líder nacional del programa de Ingeniería de Telecomunicaciones.

A la Dra. Mónica Andrea Rico Martínez, Directora Metodológica por las acertadas orientaciones y recomendaciones que permitieron llevar a buen término el presente trabajo.

Gracias a toda mi familia, a mis padres y a mi hermana, que sin su apoyo incondicional no hubiera tenido la fuerza y confianza para crecer como persona y como profesional.

Gracias a mis amigos y compañeros, que siempre me han prestado un gran apoyo moral lo cual fue necesario para afrontar los momentos difíciles durante este proceso.

Gracias a Johan Rodríguez que con quien durante una lluvia de ideas en pro de optimizar los procesos en la rampa donde trabajamos, surgió el inicio de este trabajo de grado.

Pero, sobre todo, gracias a mi maravillosa esposa y a mis dos espectaculares hijos, por su paciencia, comprensión y solidaridad con la realización de este proyecto de vida, por el tiempo que me han concedido y que a partir de ahora será totalmente retribuido, sin su apoyo este capítulo en mi vida nunca se habría escrito y, por eso, este trabajo es también de ustedes.

A todos, muchas gracias.

CONTENIDO

CAPITULO I	18
1. GENERALIDADES.....	18
1.1 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	18
1.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	26
1.2.1 Objetivo General.	26
1.2.2 Objetivos Específicos.	26
1.3 JUSTIFICACIÓN	27
1.4 MARCO REFERENCIAL	28
1.4.1 Marco Conceptual.	28
1.4.2 Marco Teórico y Estado del Arte.	31
1.5 METODOLOGÍA.....	38
1.5.1 Población.....	39
1.5.2 Muestra	39
1.5.3 Técnica de Recolección de Datos	39
1.5.4 Análisis de Resultados	39
1.5.5 Impacto de los Resultados del Proyecto	45
CAPÍTULO II	46
2. SISTEMAS DE IDENTIFICACIÓN ELECTRÓNICA PARA LA OPTIMIZACIÓN DE TIEMPOS EN LA UBICACIÓN Y ASIGNACIÓN DE PUNTOS DE PARQUEO DE VEHÍCULOS	46

2.1 SISTEMAS DE IDENTIFICACIÓN MEDIANTE RFID (RADIO-FREQUENCY IDENTIFICATION).....	46
2.1.1 Generalidades de la Identificación por Radiofrecuencia RFID	46
2.1.2 Funcionamiento del Sistema RFID.....	47
2.1.3 Categorías de Sistemas RFID.....	47
2.1.4 Caracterización de las Tarjetas RFID.....	53
2.2 TECNOLOGÍA NEAR-FIELD COMMUNICATION (NFC).....	55
2.2.1 Funcionamiento de NFC.....	55
2.2.2 Diferencias NFC Y RFID.	56
2.3 EL CÓDIGO DE BARRAS.....	57
2.3.1 Utilidad de los Códigos de Barra	58
2.3.2 Otras Aplicaciones del Código de Barras.....	59
2.3.3 Comparación Tecnologías RFID – NFC – Código De Barras.....	60
CAPÍTULO III	61
3. TECNOLOGÍAS USADAS PARA EL DESARROLLO DEL PROTOTIPO	61
3.1 SISTEMA DE IDENTIFICACIÓN ELECTRÓNICA PARA EL PROTOTIPO DEL PROYECTO	61
3.1.1 Módulo ARDUINO.	61
3.1.2 Módulo RFID RC522.....	63
3.1.3 Sensor de Movimiento.....	63
3.1.4 TARJETAS RFID (TAGS).....	64
CAPITULO IV	66
4. DISEÑO DEL PROTOTIPO	66

4.1 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	66
4.1.1 Funcionamiento del Prototipo.....	67
4.2 MÓDULOS PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA.....	67
4.2.1 Alimentación.....	67
4.2.2 Sensado.	68
4.2.3 Lectura	68
4.2.4 Etapa de Control.	69
4.2.5 Visualización	70
4.3 PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN	70
4.4 CONFIGURACIÓN DE LOS ELEMENTOS.....	71
4.5 ALGORITMOS	73
4.6 PLANOS.....	74
4.7 PRUEBAS FUNCIONALES.....	80
4.8 EXPLICACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL PROTOTIPO.....	85
5. CONCLUSIONES.....	89
6. RESULTADOS.....	90
7. TRABAJO FUTURO.....	92
7.1 PLAN DE MEJORA A CORTO PLAZO	92
7.2 PLAN DE MEJORA A MEDIANO PLAZO	93
REFERENCIAS.....	94
ANEXOS	99

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1 Spots Operativos de la Línea de Vuelo y Spots de parqueo Rampa.....	21
Figura 2 <i>Aeronaves en Rampa CACOM-4</i>	22
Figura 3 Causa y Efecto Problemática Zonas de Parqueo CACOM-4	25
Figura 4 Controlador Automático de Tráfico Aéreo	34
Figura 5 Comparación Tecnología Código de Barras / Tecnología RFID.....	36
Figura 6. Conocimiento de Cantidad de Aeronaves CACOM-4.....	40
Figura 7 Conocimiento Cantidad de Spots CACOM-4.....	40
Figura 8 Conocimiento Sobre Tipo de Identificación para los Spots de CACOM--4.....	41
Figura 9 Conocimiento Sobre Protocolos de Parqueo de Aeronaves.....	41
Figura 10 Reporte de Eventos de Seguridad por Causa del Tráfico Aéreo en Tierra....	42
Figura 11 Reporte de Demora o cancelación de Vuelos por Factor Spot.....	43
Figura 12 Viabilidad Sistema de Identificación Electrónica de Spots	44
Figura 13 Lectores RFID	47
Figura 14 Etiqueta RFID ALN-9640.....	48
Figura 15 Componentes de un Sistema RFID	49
Figura 16 Aeronave Sobre Spot de Parqueo.....	52
Figura 17 Microchips Impedancia y Sensibilidad.....	54
Figura 18 Funcionamiento Dispositivos NFC.....	56
Figura 19 Ejemplo Etiqueta con Código de Barras EAN-13 en la que se Identifica el Producto.....	57
Figura 20 Código de Barras en la cadena de Suministros	58

Figura 21 Elementos Necesarios para Efectuar la Simulación	61
Figura 22 Módulo Arduino Uno	62
Figura 23 Módulo RFID RC522	63
Figura 24 Sensor de Movimiento	64
Figura 25 Tarjetas RFID pasiva	64
Figura 26 Diagrama de Bloques Prototipo a Escala y Simulación	66
Figura 27 Fuentes Alimentación Arduino UNO	67
Figura 28 Sensor de Movimiento PIR HC-SR501	68
Figura 29 Lector RFID RC522 y Tarjeta RFID	69
Figura 30 Módulo Arduino UNO	69
Figura 31 Visualización mediante LCD	70
Figura 32 Descripción Dispositivos Instalados en el Spot y la Aeronave	71
Figura 33 Pantalla LCD	72
Figura 34 Ejemplo Aplicativo	72
Figura 35 Algoritmo de programación	73
Figura 36 Diagrama de flujo	74
Figura 37 <i>Plano esquemático Arduino UNO – Tarjeta Lectora RFID RC522</i>	76
Figura 38 Plano esquemático Arduino UNO – LCD 16x2	78
Figura 39 Plano esquemático Arduino UNO – Sensor PIR HC-SR501	79
Figura 40 Voltaje de alimentación módulo arduino mediante cable USB	80
Figura 41 Voltaje de alimentación módulo arduino mediante batería de 9 voltios	81
Figura 42 Zona de detección del sensor de movimiento con el lente de fresnel	82
Figura 43 Encendido del LED con el movimiento detectado por el sensor PIR	82

Figura 44 Distancia promedio de lectura entre el lector y el tag pasivo.....	83
Figura 45 Lectura UID de las tarjetas disponibles para asignación	84
Figura 46 Asignación tipo y número de aeronave a la tarjeta.....	85
Figura 47 Prototipo a escala con spots vacíos	86
Figura 48 Prototipo a escala con los sensores de movimiento activados.....	87
Figura 49 Prototipo a escala leyendo los tags de las aeronaves sobre los spots.....	88
Figura 50 Dispositivo propuesto para la implementación real	92
Figura 51 Rampa Norte con su respectiva aplicación	93

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Total Aeronaves CACOM-4 año 2020.....	19
Tabla 2 Promedio Diario de Aeronaves en Línea de Vuelo y Rampa	20
Tabla 3 Promedio de Horas de Vuelo Asignadas por Equipo al Año	23
Tabla 4 Tecnologías más Comunes Usadas en RTLS	51
Tabla 5 Comparación Tecnología RFID y RTLS.....	52
Tabla 6. Comparación tecnología RFID, NFC y Código de barras	60
Tabla 7 Asignación UID a las Aeronaves.....	84
Tabla 8 Obtención de los resultados vs los objetivos propuestos.....	91

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1 Formulario de la encuesta	99
Anexo 2 Programa de lectura código UID de las tarjetas pasivas	100
Anexo 3 Código arduino para asignar y revisar los datos de las aeronaves almacenados en las tarjetas pasivas.....	101
Anexo 4 Código arduino para programar el sistema del spot 1	104
Anexo 5 Código arduino para programar el sistema del spot 2	108
Anexo 6 Video de Funcionamiento del prototipo a escala con sistema de identificación electrónica para asignación de puntos de parqueo de aeronaves	112

RESUMEN

El incremento de operaciones de vuelo destinadas a la capacitación y entrenamiento de pilotos militares de la fuerza pública colombiana y países aliados ha generado el crecimiento del inventario de aeronaves desde el 2007, año en el cual se recibieron 12 helicópteros B-206 (Fuerza Aérea Colombiana, s.f) y en el 2010, 30 helicópteros tipo OH-58 los cuales fueron reemplazados a partir del 2016 por 59 helicópteros TH-67, completando 103 aeronaves en la unidad (Fuerza Aérea Colombiana, s.f). Este crecimiento en el inventario de aeronaves hace que el espacio en los hangares para albergarlas sea insuficiente siendo necesario que algunas aeronaves deban permanecer en los puntos de parqueo establecidos en rampas o línea de vuelo junto con las aeronaves operativas, reduciendo la disponibilidad de estos.

Este aspecto sumado a desplazamientos de equipos móviles de apoyo logístico terrestre y el tránsito de personal de mantenimiento en el área operativa, dificultan la visual del personal de tránsito aéreo, tripulaciones y personal de mantenimiento del Comando Aéreo de Combate No. 4 para identificar y ubicar de manera directa cada helicóptero asignado para vuelo, o la disponibilidad de puntos de parqueo para aeronaves cuando llegan de vuelo.

Por tal motivo, en este proyecto se diseña y desarrolla un prototipo a escala para la implementación de un sistema de identificación electrónica de puntos de parqueo, con el ánimo de contribuir a la reducción de los factores de riesgo y la mejora en el desempeño del personal de mantenimiento, tripulaciones y tránsito aéreo en el control de la zona operativa de esta Unidad Aérea.

PALABRAS CLAVES. RFID, ARDUINO, AERONAVES, SEGURIDAD

ABSTRAC

The increase of flight operations for the training of military pilots of the Colombian public force and allied countries has generated the growth of the aircraft inventory since 2007, year in which 12 B-206 helicopters were received (Fuerza Aérea Colombiana, s.f) and in 2010, 30 OH-58 helicopters, which were replaced in 2016 by 59 TH-67 helicopters, completing 103 aircraft in the base (Fuerza Aérea Colombiana, s.f). This growth in the inventory of aircraft, makes the space in the hangars them insufficient being necessary that some aircraft must remain in the parking points established in ramps or flight line along with the operational aircraft, reducing the availability of these.

This aspect, added to the displacement of mobile logistical ground support teams and the transit of maintenance personnel in the operational area, makes it difficult for air traffic personnel, crews and maintenance personnel of Combat Air Command No. 4 to directly identify and locate each helicopter assigned for flight, or the availability of parking points for aircraft when they arrive from flight.

For this reason, this project designs and develops a scale prototype for the implementation of an electronic identification system of parking points, with the aim of contributing to the reduction of risk factors and improving the performance of maintenance personnel, crews and air traffic in the control of the operational area of this Air Base.

KEY WORDS. RFID, ARDUINO, AIRCRAFT, SECURITY.

INTRODUCCIÓN

Los avances tecnológicos especialmente en el área de las telecomunicaciones ofrecen a las empresas de todos los sectores económicos, la posibilidad de encontrar en herramientas y plataformas electrónicas la oportunidad de desarrollar programas de control y seguimiento en tiempo real de productos, equipos y hasta el mismo talento humano, obteniendo en este proceso importante información estadística que al ser procesada facilita la mejora de dichos procesos y optimiza el uso de los recursos. Dentro de las plataformas electrónicas están aquellas que utilizan un sistema de identificación por radiofrecuencia RFID, (Radio Frequency Identification) de importante uso en empresas dedicadas al transporte terrestre y al servicio de parqueo de automotores en aeropuertos, terminales de transporte y centros comerciales.

En este contexto y de acuerdo con (KIMALDI, 2020), RFID es un sistema de identificación por radiofrecuencia que almacena datos en etiquetas, tarjetas o transpondedores y consta básicamente de un lector/escritor y un tag o transponder. Este sistema de identificación que inicialmente fue utilizado para el control de inventarios y debido a la eficiente información estadística sobre ubicación y trazabilidad de los productos bajo control, se encontró en este sistema la oportunidad de ser utilizado en ámbitos como el control del parque automotor donde también ha reportado excelentes resultados. Esto quiere decir que las empresas dedicadas a esta actividad comercial ya pueden saber en tiempo real no solo la ubicación e identificación de los vehículos, sino también la disponibilidad de espacios en el parqueadero. Estos sistemas de verificación se suman a los controles que se realizan con circuitos cerrados de televisión, lo cual incrementa el nivel de seguridad para la empresa y los usuarios.

En este contexto y acorde al objetivo de la presente investigación que busca dar solución al problema de identificación y ubicación en tiempo real, de puntos de parqueo para aeronaves en la zona operativa del Comando Aéreo de Combate No. 4, en adelante CACOM-4 o Base Aérea “Luis F. Pinto”, ubicado en el municipio de Melgar – Tolima, se presenta la propuesta de diseño y simulación de un prototipo a escala para un sistema de verificación electrónica de espacios para el parqueo de aeronaves de esta unidad, que a la fecha suman un total de 103 repartidas en diferentes equipos, de tal forma que mejoren los procesos logísticos de operación en tierra y disminuyan los factores de riesgo generados por el alto flujo de aeronaves, equipos de apoyo terrestre y personal en la zona operativa.

El proyecto que se encuentra consignado en este documento se estructuró en cuatro fases a saber, la primera se desarrolló para caracterizar la problemática existente en el CACOM-4 y el impacto que genera en las operaciones aéreas y actividades de apoyo

logístico en tierra con respecto a la dificultad en la identificación y ubicación en tiempo real de espacios libres para el parqueo de aeronaves. Como resultado de esta caracterización se estructuró el problema y los objetivos de la investigación. En la segunda fase se documentaron casos reales sobre el uso de sistemas de identificación electrónica con resultados exitosos y que aportan al desarrollo del proyecto. Durante la tercera fase se realiza una exploración teórica sobre el tipo de tecnología que aplica a los requerimientos técnicos y de ingeniería para el desarrollo del prototipo propuesto. La cuarta fase, corresponden al diseño y pruebas del prototipo a escala propuesto.

Finalmente, el documento aportará información teórica y técnica útil al enriquecimiento y desarrollo tecnológico de la institución y a la promoción de proyectos que mejoren las condiciones laborales y la seguridad de las operaciones aéreas que se adelantan en el Comando Aéreo de Combate No.4 contenida así:

El capítulo I hace referencia a la caracterización de la problemática existente en el CACOM-4 respecto a las dificultades de identificación y asignación de puntos de parqueo para aeronaves, antecedentes de investigaciones al respecto y el diseño metodológico que permite estructurar la propuesta de solución. El capítulo II, presenta el contenido teórico sobre sistemas de identificación electrónica para ubicación y asignación de puntos de parqueo de vehículos. El Capítulo III describe las tecnologías existentes para el desarrollo del modelo de identificación electrónica propuesto y el capítulo IV presenta el desarrollo teórico para el prototipo del sistema de identificación electrónica propuesto y que permitirá, la optimización de los tiempos en la ubicación y asignación de los puntos de parqueo para aeronaves en el CACOM-4.

CAPITULO I

1. GENERALIDADES

En este capítulo se presenta el enfoque metodológico de la investigación, aquí se define el planteamiento del problema, la justificación, los objetivos, el marco teórico y el marco conceptual, los antecedentes, la metodología aplicada y el impacto de los resultados del proyecto aplicado.

1.1 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

En un proceso de observación y recolección de información realizado durante el lapso junio a diciembre del año 2020 en el CACOM-4, sobre los procesos de identificación y disposición de las aeronaves en los diferentes puntos de parqueo que tiene la unidad, se pudo determinar los siguientes aspectos que motivaron el desarrollo de la presente investigación:

A la fecha el CACOM-4 cuenta con un inventario total de 103 aeronaves distribuidas tal como lo evidencia la Tabla 1, las cuales cumplen operaciones relacionadas con misiones de vuelo para capacitación y entrenamiento de pilotos militares de las fuerzas armadas de Colombia y países amigos, apoyo de orden público, atención a emergencias y catástrofes naturales, transporte de pasajeros y personalidades, transporte aeromédico, transporte de carga, operaciones psicológicas, escolta aérea, aerofotografía e inteligencia. Todas estas misiones orientadas al cumplimiento de la misión del CACOM-4, “conducir operaciones aéreas en contribución a la defensa de la soberanía, la independencia e integridad territorial, del orden constitucional, el logro de los fines del Estado y formar tripulaciones para el desarrollo de operaciones militares aéreas”. (Fuerza Aérea Colombiana, 2021).

Es importante destacar que dentro del CACOM-4, funciona la Escuela de Helicópteros para las Fuerzas Armadas Coronel “Carlos Alberto Gutiérrez Zuluaga” en adelante EHFAA, la cual tiene a cargo la formación y entrenamiento de pilotos, copilotos, pilotos instructores, pilotos estandarizadores y técnicos de vuelo de helicópteros UH-1H, HUEY II, B-212, B-206, TH-67 y OH-13.

Tabla 1*Total Aeronaves CACOM-4 año 2020*

Equipo	Cantidad	Descripción Misión
B-212	07	Operacional e Instrucción
HUEY II	22	Operacional e Instrucción
UH-1H	01	Operacional e Instrucción
B-206B3	12	Operacional e Instrucción
TH-67	59	Instrucción
OH-13	01	Institucional
C-208	01	Operacional

Fuente. Elaboración propia

Las aeronaves relacionadas según el tipo de misión son configuradas con equipo especial y/o armamento y dispuestas en los puntos de parqueo asignados por la torre de control asumiendo una condición de alistamiento que es reportada por el Oficial de Mantenimiento al centro de operaciones de la Unidad, dependencia encargada del control diario del parque aeronáutico. Entre las condiciones de alistamiento que actualmente se manejan en el CACOM-4 se destacan:

- ✓ Aeronave lista para vuelo de instrucción
- ✓ Aeronave lista para vuelo operacional
- ✓ Aeronave armada lista para vuelo operacional
- ✓ Aeronave lista pendiente vuelo de prueba o de comprobación
- ✓ Aeronave lista para verificación operacional de mantenimiento
- ✓ Aeronaves en trabajos de mantenimiento programado o imprevisto

Para cumplir con los programas de entrenamiento de vuelo en cada uno de los niveles de formación previstos por la EHFAA, vuelos de mantenimiento y vuelos operacionales, se requiere mantener 37 aeronaves en línea de vuelo y 25 en rampa, como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2*Promedio Diario de Aeronaves en Línea de Vuelo y Rampa*

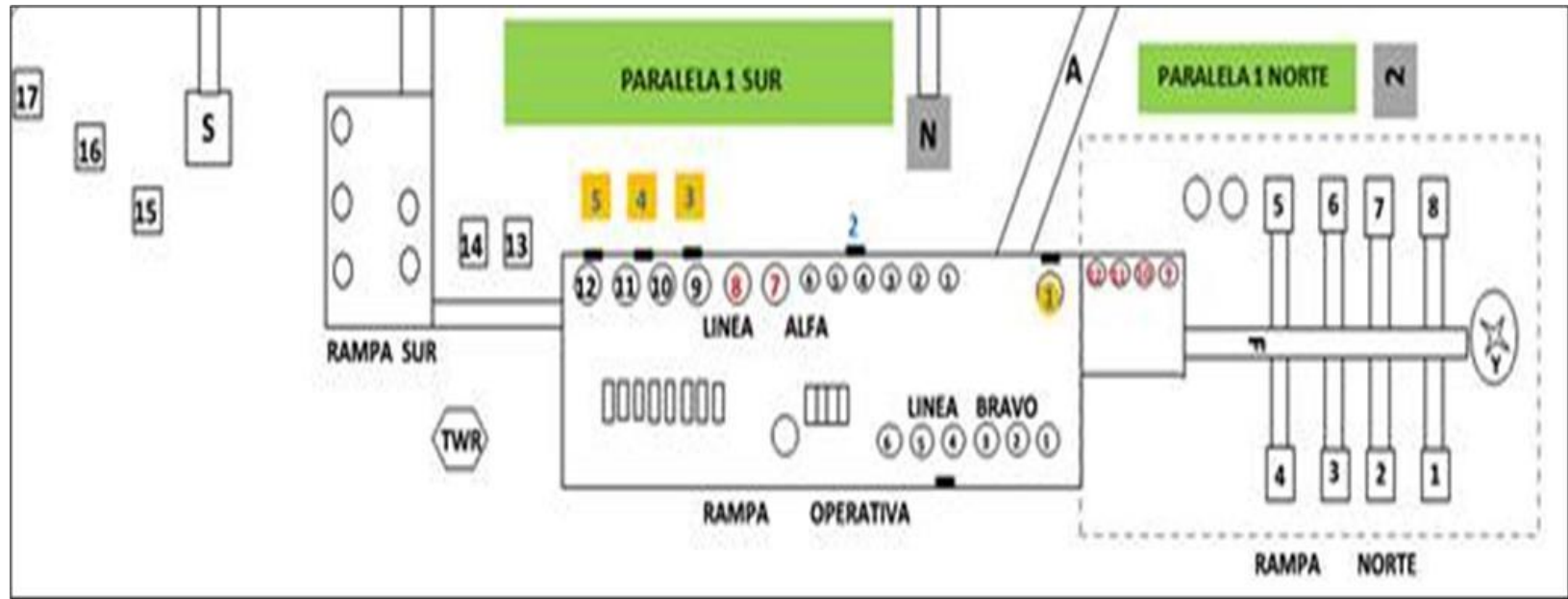
LÍNEA DE VUELO		
Equipo	Cantidad	Actividad
B-212	3	Instrucción, Mantenimiento y Operacional
HUEY II	7	Instrucción, Mantenimiento y Operacional
B-206	8	Instrucción, Mantenimiento y Operacional
TH-67	18	Instrucción y Mantenimiento
C-208	1	Operacional
Total	37	
RAMPA		
Equipo	Cantidad	Actividad
B-212	1	Disponible para Instrucción y Operacional
HUEY II	2	Disponible para Instrucción y Operacional
B-206	2	Disponible para Instrucción y Operacional
TH-67	20	Disponible para Instrucción
Total	25	

Fuente. Elaboración propia

Del total de aeronaves, no todas necesariamente están programadas de vuelo en el mismo día, sino que simplemente están disponibles en el caso de que se requiera una aeronave adicional de reemplazo o para misiones adicionales a las programadas. Por otra parte, y debido al alto número de aeronaves del CACOM-4, se presenta la falta de espacio dentro de los siete hangares para albergarlas cuando no son requeridas para vuelo y por ello, en coordinación con el escuadrón mantenimiento, departamento de seguridad, la torre de control y el centro de operaciones de la unidad, fueron asignados espacios adicionales en rampa llamados cajas de parqueo que se utilizan solo para aeronaves que no están comprometidas en operaciones aéreas y están distribuidos como se muestra en las figuras 1 y 2, donde se presenta el diagrama de distribución de espacios de parqueo la zona operativa del CACOM-4.

El alto flujo de aeronaves, equipos y personal se presenta por la cantidad de vuelos diarios en el CACOM-4. Es así como, en un día normal de operaciones se cumplen en promedio 30 a 40 turnos de vuelo de instrucción y 15 de tipo operacional que involucran adicionalmente los vuelos de prueba o comprobación por mantenimiento, los cuales se organizan y controlan por parte de la torre de control, en ventanas de vuelo o bloques de horas específicos para cada misión, con el fin de reducir la congestión que pueda presentarse.

Figura 1
Spots Operativos de la Línea de Vuelo y Spots de parqueo Rampa



Fuente. Elaboración propia

Figura 2
Aeronaves en Rampa CACOM-4



Fuente. Fotografía tomada de aniversario FAC CACOM 4

Carga operacional que al año suma un aproximado de 15.605 horas de vuelo asignadas, tal como se muestra en la tabla 3. Un estudio publicado por (Cubillos González , 2020) destaca que en el año 2019, se cumplieron un total de 12.373 misiones de vuelo de las cuales 7.164 fueron misiones de instrucción para un total volado de 14.776,5 horas de vuelo de las cuales asimismo 9.123,5 fueron para instrucción.(p.12)

Tabla 3

Promedio de Horas de Vuelo Asignadas por Equipo al Año

Promedio de Horas de Vuelo Anuales Asignadas por Equipos del CACOM - 4

Equipo	Horas por mes	Horas por año
B-212	108	1300
HUEY II	183	2200
UH-1H	10	120
B-206	208	2500
TH-67	758	9100
OH-13	8	100
C-208	42	500
TOTAL	1317	15820

Fuente. Elaboración propia

La variedad de operaciones y el alto número de vuelos a cumplir por parte de las aeronaves del CACOM-4, hace que en la rampa operativa se presente a diario, un alto flujo no solo de las aeronaves que se desplazan a las zonas de parqueo sino también, movimiento de equipo de apoyo logístico a las operaciones aéreas y personal involucrado en estas actividades ya sea como oficiales de mantenimiento, técnicos de vuelo, técnicos de mantenimiento, bomberos, pilotos alumnos o pilotos operacionales, todos ellos autorizados para movilizarse en esta área con un factor común, ubicar una aeronave para cumplir un servicio o misión.

A pesar de que los controladores aéreos de la Unidad de manera muy eficiente tratan de mantener un control óptimo del tránsito aéreo, existen otros factores que pueden impactar el desarrollo normal de las operaciones generando retrasos en las salidas a vuelo o la cancelación de las mismas, tales como la meteorología adversa o eventos que atenten contra la seguridad de las personas y la condición de los equipos.

En este contexto, las dificultades más importantes se presentan al intentar ubicar de manera directa y en tiempo real una aeronave, teniendo como referencia el número de cola, situación que genera demoras en las actividades, pues las mismas no se pueden realizar hasta no encontrar la aeronave designada, en un espacio muchas veces

congestionado y sin una señalización que pueda ser visualizada de manera directa y sin retrasos. Se debe aclarar que, aunque se han presentado retrasos en la salida de aeronaves o trabajos de mantenimiento, nunca se han cancelado dichas actividades por este factor. Sumado a la dificultad para ubicar las aeronaves en tiempo real por parte del personal de tripulantes, técnicos o pilotos, también se presenta dificultad para el personal de controladores aéreos en el sentido de no visualizar de manera oportuna desde la torre de control, zonas de parqueo libres donde se puedan ubicar aeronaves que llegan a la Unidad, lo cual hace que el contralor tenga que enviar las aeronaves a zonas de espera hasta tanto logre ubicar dichos espacios teniendo en cuenta que no afecte la seguridad en el carreteo de las mismas.

Otro factor identificado y que acrecienta la problemática, se da en el proceso de control de la rampa por parte de los controladores aéreos, ya que la variedad de vehículos apoyo relacionados con plantas de energía, remolque de aeronaves, carros de bomberos, ambulancias, vehículos de supervisores en tierra, montacargas, entre otros y personas que se desplazan por esta zona al mismo tiempo en que se desarrollan las actividades de vuelo, hacen que este espacio operativo en determinado momento se muestre muy pequeño para la cantidad de actividades referenciadas. Todos los aspectos anteriormente relacionados se convierten en factores de riesgo que pueden ocasionar eventos de seguridad que afecten la seguridad física de las personas y la condición tecnomecánica de los equipos de apoyo terrestre y las aeronaves.

Actividades que no tienen nada que ver con aspectos operativos y que se presentan igualmente en la zona operativa, influyen en la situación actual y están relacionados con obras de construcción de hangares, ampliación y delimitación de rampas y áreas de entrenamiento de vuelo, alterando los protocolos de control y seguridad de esta área, aspectos que motiva a que los controladores de tráfico aéreo y personal de mantenimiento incrementen los niveles de alerta para evitar eventos que afecten la seguridad.

Tal como se evidencia en la figura 1, CACOM-4, cuenta con 5 puntos de parqueo fijo de reacción, 31 de parqueo aleatorio y 5 de parqueo de aeronaves transeúntes, distribuidos en 5 áreas específicas. Asimismo, están delimitadas las zonas de tránsito de equipos y personal de apoyo logístico en tierra. Para un controlador aéreo, es de especial dificultad y cuidado lograr desde la torre de control un eficiente manejo del tráfico de equipos y personas en la zona operativa y al mismo tiempo tener claridad y conocimiento en tiempo real de zonas de parqueo despejadas para las aeronaves del CACOM-4.

Y es aquí donde radican las principales debilidades del proceso, a la fecha el CACOM-4, no cuenta con un sistema de identificación electrónico que le permita conocer en tiempo real, como se encuentran organizadas las aeronaves en rampa y la disponibilidad de

puntos de parqueo. Para el caso de los controladores de tráfico aéreo, esta identificación la realizan mediante observación directa desde el punto alto de la torre de control, situación que puede generar equivocaciones al asignar puntos de parqueo ocupados y por ende el riesgo de cruces peligrosos con aeronaves en carreteo, riesgo que se incrementa cuando las operaciones se realizan en horario nocturno.

Para las tripulaciones y el personal de mantenimiento que debe realizar trabajos en línea de vuelo, el proceso de identificación y ubicación de las aeronaves, lo deben hacer desplazándose a pie a través de la rampa operativa, reiterando nuevamente que este proceso contribuye a la pérdida de tiempo debido a los excesivos desplazamientos en rampa al no encontrar de manera inmediata la aeronave asignada.

Resumiendo, la deficiente identificación y señalización en tiempo real de aeronaves y ubicación espacios de parqueo libres, el alto número de aeronaves operando, tripulaciones, vehículos y personal de apoyo en tierra desplazándose al mismo tiempo dentro de la rampa operativa, sumado a las obras de adecuación, pueden en determinado momento, generar la ocurrencia de eventos que coloquen en riesgo la seguridad física de las personas y la condición de los equipos, ocasionando probables retrasos en las programaciones o cancelación de las mismas, aspectos que se relacionan en la figura 3 que demuestran las causas y efectos de la problemática referenciada.

Figura 3

Causa y Efecto Problemática Zonas de Parqueo CACOM-4



Fuente. Elaboración propia

Todo lo anterior, hace que la Unidad comience a buscar la forma de reducir el factor de riesgo que representa no tener adecuadamente identificado los espacios libres y asignados con número de cola de aeronaves en las zonas de parqueo, ante lo cual se presentan posibles soluciones de las cuales se destacan las siguientes:

- ✓ Implementar un sistema electrónico de identificación en tiempo real de las aeronaves dispuestas para misiones de vuelo operacional o de instrucción en los puntos de parqueo, así como para las aeronaves que por alguna circunstancia técnica u operacional diferente a la de vuelo deba permanecer fuera de los hangares en sitios de parqueo.
- ✓ También la torre de control por intermedio del escuadrón de comunicaciones puede en determinado momento crear el cargo de disponible de control parqueo aeronaves y dejar un solo funcionario encargado específicamente de este aspecto, solución poco viable debido a la limitada disponibilidad de personal que trabaja en tránsito aéreo.
- ✓ Asignarle funciones adicionales a los técnicos u oficiales de mantenimiento para que pasen continuos reportes de ocupación en rampa a la torre de control y el Centro de Comando de Operaciones de Batalla CCOBA, aspecto que genera traumatismos en las operaciones, debido a los largos desplazamientos que tendría que recorrer para revisar todos los spots, afectando adicionalmente el cumplimiento de las funciones relativas al cargo.

Nace entonces, la siguiente pregunta de investigación para el proyecto contextualizado: ¿Cómo se diseña e implementa un prototipo a escala con sistema de identificación electrónica para la asignación de puntos de parqueo en tiempo real de aeronaves en la zona operativa aéreo del Comando Aéreo de Combate No? 4 en Melgar – Tolima?

1.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1 Objetivo general. Proponer el diseño y desarrollo de un prototipo a escala con sistema de identificación electrónica para la asignación de puntos de parqueo en tiempo real de aeronaves en la zona operativa aéreo del Comando Aéreo de Combate No.4 en Melgar – Tolima.

1.2.2 Objetivos específicos. Documentar casos con resultados exitosos sobre el uso de sistemas de identificación electrónica que aporten al proyecto de mejoramiento en los tiempos de ubicación y asignación puntos de parqueo para las aeronaves del Comando Aéreo de Combate No. 4 en Melgar – Tolima.

- ✓ Determinar y caracterizar el tipo de tecnología requerida en el desarrollo del prototipo a escala con sistema de identificación electrónica de los puntos de parqueo para las aeronaves del CACOM-4.
- ✓ Desarrollar el prototipo a escala con sistema de identificación electrónica para los puntos de parqueo de aeronaves del CACOM-4.
- ✓ Realizar pruebas del prototipo a escala con identificación electrónica para los puntos de parqueo de aeronaves del CACOM-4.

1.3 JUSTIFICACIÓN

El diseño de un prototipo a escala con sistema de identificación electrónica para la asignación de puntos de parqueo en tiempo real de aeronaves en el Comando Aéreo de Combate No. 4 permite y es importante por las siguientes razones:

- ✓ Mostrar el procedimiento de implementación de este sistema, de tal forma que las dependencias encargadas de mantener el control de tráfico en la zona operativa, tripulaciones, personal de mantenimiento y apoyo logístico, conozcan en tiempo real la ubicación de las aeronaves establecidas en esta área y la disponibilidad de spots de parqueo en rampa, reduciendo retrasos en las salidas, establecimiento de las mismas durante las operaciones aéreas o errores de asignación por la congestión que se presenta por el alto número de vuelos programados por día.
- ✓ Evidenciar que se puede reducir el riesgo de eventos de seguridad relacionados con colisiones, cruces peligrosos de aeronaves o equipos y altas concentraciones de personal desplazándose por la rampa, situaciones que pueden atentar contra la seguridad física de las personas o la condición de los equipos establecidos en la zona operativa.
- ✓ Aportar en la mejora de los procesos de parqueo de aeronaves en el área objeto de la investigación, mediante los conocimientos adquiridos en el programa de Ingeniería de Telecomunicaciones.
- ✓ Con el prototipo, se aporta en la actividad de control y registro que realiza el oficial de mantenimiento, el centro de comando y control y el departamento de tránsito aéreo del CACOM-4, dependencia que en la actualidad cuenta 12 funcionarios que están expuestos a importantes niveles de estrés por la dificultad que se presenta para identificar

espacios libres de parqueo en rampa, sobre todo en horario nocturno, situación que afecta su desempeño.

✓ Estimular la participación del personal técnico y profesional del área de comunicaciones aeronáuticas en la formulación de proyectos tecnológicos que mejoren las condiciones de seguridad en las operaciones aéreas.

✓ Mediante el desarrollo del proyecto aquí planteado se hace un aporte al desarrollo tecnológico institucional ya que el mismo puede ser implementado en otras instituciones militares o civiles que presenten una problemática similar o quieran sistematizar este tipo de procedimientos.

✓ Implementar el sistema de identificación electrónica no genera riesgos o afectaciones al medio ambiente.

Con lo anterior, el autor con la asesoría y liderazgo del semillero de Investigación InPto (Ingeniería para todos) y del departamento de investigación de la facultad de Ingeniería de Telecomunicaciones de la Universidad Abierta y a Distancia – UNAD, aporta en el desarrollo y mejora de procesos de las operaciones aéreas con ayuda de la tecnología aplicada a sistemas de identificación por radiofrecuencia.

1.4 MARCO REFERENCIAL

El abordaje conceptual y teórico sobre sistemas de identificación electrónica implementados en actividades comerciales tales como el control de tráfico vehicular, control de espacios en parqueaderos en aeropuertos y centros comerciales e incluso control en el desplazamiento de personas, son aspectos que sirven de apoyo a la estructura documental de la investigación y se referencian a continuación.

1.4.1 Marco conceptual. Para el desarrollo del proyecto se describe teóricamente conceptos y resultados de investigaciones relacionadas con sistemas de identificación electrónica que aportan al logro de los objetivos propuestos para la investigación.

1.4.1.1 Identificación electrónica. Procedimiento de identificación y autenticación que referencia la posición de un objeto o persona en un espacio geográfico, mediante la utilización de un formato electrónico (Dej Panhispánico, 2020).

Gracias a los avances de la tecnología, los sistemas de identificación electrónica son utilizados en muchas áreas de la actividad humana, el comercio, la seguridad, los sistemas electorales, la codificación de vehículos automotores, sistemas de identificación de aeronaves e incluso, en los mismos procesos electorales que gracias a estos avances suministran datos casi instantáneos con niveles de certeza superiores al 90%.

Un artículo publicado por la real casa de la moneda de España (FNMT, 2020), argumenta que las aplicaciones en internet, el comercio electrónico y los actuales sistemas de certificación, requieren cada día más niveles de seguridad que les permita operar adecuadamente.

Con respecto a sistemas que rastreen cosas o personas en tiempo real ya sea en espacios cerrados o abiertos, se presenta la tecnología RTLS (del inglés Real-time locating system) que usualmente utiliza formas de comunicación tales como la radiofrecuencia (RF), tecnología óptica (usualmente infrarroja) o acústicas (usualmente ultrasonido). Otras combinaciones posibles se logran con la utilización de Tags en puntos de referencia fijos con la utilización de transmisores y receptores ampliando las posibilidades de uso de la tecnología en los sistemas de identificación. (Pineda Garduño & Solano Medina, 2008)

1.4.1.2 Plataforma. Área definida, en un aeródromo terrestre, destinado para dar cabida a las aeronaves con fines de embarque o desembarque de pasajeros, correo o carga, abastecimiento de combustible, estacionamiento o mantenimiento. Es una zona donde el acceso es menos limitado que en las calles de rodaje, pero de igual forma solo se permite el acceso al personal que posea la respectiva licencia que es suministrada por las autoridades del aeropuerto (AERONÁUTICA CIVIL, 2009) p.2.

De acuerdo con el anexo 14 de la OACI (OACI, 2009):

Las plataformas deberían proveerse donde sean necesarias para que el embarque y desembarque de pasajeros, carga o correo, así como las operaciones de servicio a las aeronaves puedan hacerse sin obstaculizar el tránsito del aeródromo. De la misma forma, el área total de estas debe ser suficiente para permitir el movimiento rápido del tránsito de aeródromo en los períodos de densidad máxima prevista. Por otra parte, y respecto a la resistencia, la plataforma debería poder soportar el tránsito de las aeronaves que hayan de utilizarla, teniendo en cuenta que algunas porciones de la plataforma estarán sometidas a mayor intensidad de tránsito y mayores esfuerzos que la pista como resultado del movimiento lento o situación estacionaria de las aeronaves. (p. 1-7)

1.4.1.5 Riesgo de seguridad operacional. Es la probabilidad y gravedad predichas de las consecuencias o los resultados de un peligro. (OACI, 2013).

Se establece como concepto la evaluación de las consecuencias de un peligro, expresada en términos de Probabilidad y severidad pronosticadas, tomando como referencia la peor condición previsible. De igual forma (Fumigaray, 2014) establece que el riesgo de seguridad operacional es la probabilidad y gravedad proyectada de la consecuencia o el resultado de una situación o peligro existente.

1.4.1.6 Seguridad operacional. La Organización de Aviación Civil Internacional define la seguridad operacional como el estado en el que los riesgos asociados a las actividades de aviación relativas a la operación de las aeronaves, o que apoyan directamente dicha operación, se reducen y controlan a un nivel aceptable (OACI, 2013). En el diccionario Panhispánico del español sostiene que:

La seguridad operacional se considera cada vez más como resultado de la gestión de ciertos procesos de una organización, cuyo objetivo es mantener bajo control de la organización los riesgos para la seguridad operacional planteados por las consecuencias de los peligros en los contextos operacionales. En la medida en que los riesgos para la seguridad operacional y los errores operacionales se mantienen bajo un grado razonable de control, un sistema tan abierto y dinámico como la aviación se puede considerar seguro. En otras palabras, los riesgos para la seguridad operacional y los errores operacionales que se controlan a un grado razonable son aceptables en un sistema inherentemente seguro (Endara Garzón, 2020).

1.4.1.7 Automatización de procesos. Se refiere al proceso de racionalización, optimización y automatización de los procesos claves que impulsan una organización con el objetivo principal de reducir los costos mediante la integración de aplicaciones, reduciendo la mano de obra, acelerando el tiempo de ejecución de las actividades y sustituyendo los procesos manuales con aplicaciones de software (HEFLO, 2017).

Una definición más acercada a la naturaleza del proyecto sobre la automatización de procesos de en el área de la tecnología, la realiza (Advisors, 2017) argumentando que:

La automatización de procesos es la capacidad de un sistema tecnológico para ejecutar una serie de tareas que originalmente son realizadas por seres humanos. Dicha automatización también controla; corrige y hace visible el estado de los flujos de trabajo y tareas; y genera reportes de todo el proceso. Un aspecto muy importante de la automatización de procesos es la realimentación. A través de ella, el sistema evalúa; compara y hace correctivos en tiempo real; bajo ciertas restricciones preconfiguradas y sin intervención humana.

Adicionalmente, la automatización de procesos se puede programar para que se ejecute en determinado momento; dependiendo del resultado de procesos previos o de determinados factores. Esto permite la planificación de tareas a futuro.

1.4.1.8 Tráfico aéreo. De acuerdo con (Concepto de definición, 2021)

Se denomina tráfico al movimiento terrestre que fluye de un camino a otro por transeúntes ya sea en forma vehicular o peatonal. Se le denomina aéreo al aire zona elevada del cielo, es decir tráfico aéreo es el flujo de movimiento constante que se da por los aires, que al igual que el tráfico terrestre requiere de un constante monitoreo, de un control con una variedad de procedimientos un sistema riguroso de reglas y regulaciones que la Asociación de Transporte Aéreo (IATA) y La Organización de la Aviación Civil Internacional (OACI), con la cooperación de los gobiernos de los distintos países y las aerolíneas que las integran, han marcado una variedad de reglas y normas que han implementados para el desarrollo del movimiento diario de las empresas de aviación y las agencias de viaje.

1.4.1.9 El Microchip, o también llamado circuito integrado (CI). Según el artículo publicado en el portal (CAD, 2020):

Es una pastilla o chip muy delgado en el que se encuentran una cantidad enorme de dispositivos microelectrónicos interactuados, principalmente diodos y transistores, además de componentes pasivos como resistencias o condensadores.

El primer Circuito Integrado fue desarrollado en 1958 por el Ingeniero Jack St. Clair Kilby, que concibió el primer circuito electrónico cuyos componentes, tanto los activos como los pasivos, están dispuestos en un solo pedazo de material, semiconductor, que ocupa la mitad de espacio de un clip para sujetar papeles.

1.4.1.10 Zona operativa. Es el área geográfica que dentro de una unidad militar que se asigna para el desarrollo de actividades relacionadas con el movimiento de aeronaves, equipos de apoyo terrestre y personal que opera dichos equipos y apoyan las operaciones aéreas.

1.4.2 Marco teórico y estado del arte. Presenta los resultados de investigaciones que han sido realizadas por otros autores y que tiene relación con la temática del proyecto, aportando a la estructura teórica de la propuesta de diseño del prototipo de identificación electrónica.

1.4.2.1 Antecedentes. No cabe duda de que el desarrollo tecnológico en los últimos 30 años ha dado un cambio total a la forma como las empresas independientemente de su objeto comercial buscan ganar espacios importantes en el mercado. Ya no solo se trata de lanzar productos y servicios, ahora la vida de esa línea productiva depende en gran parte de la forma como se han automatizado los procesos y ante un panorama lleno de importantes oportunidades, pero también de crecientes amenazas por el soporte financiero que requiere ir a la vanguardia de los cambios, las empresas buscan en la tecnología la mejor estrategia de sostenimiento.

La fuerza productiva hoy en día debe estar alineada con la dinámica del manejo de la información y la reingeniería de los procesos, dicho en otras palabras, en la búsqueda de capacidad productiva en menor tiempo, menor costos, pero con mayor cobertura. Cabe destacar que gran parte de este salto tecnológico que ha tenido que realizar la industria en todos los sectores se le debe a la guerra, la actividad militar es la que más impulsa el desarrollo tecnológico con el fin de imponer poder, no en vano la guerra es la actividad más estimulante de todas las industrias.

Entonces esas tres variables, capacidad productiva en menor tiempo, menor costo y mayor cobertura se suman a las características o ventajas que ofrecen hoy por hoy los medios tecnológicos, aspectos que han sido importantes en el desarrollo de la aviación; ya no solo se trata de colocar una aeronave en vuelo, los procesos han ido más allá, ahora se piensa y se actúa sobre procesos, de ingresos y registro de pasajeros, control de tráfico aéreo, registros automatizados de mantenimiento, estudios meteorológicos, sistemas de navegación etc.

La aviación entonces en medio de este nuevo contexto, ha crecido de tal forma que en algunos casos los aeropuertos se hacen insuficientes lo mismo que los espacios de recibo y parqueo de aeronaves, lo cual genera un reto importante para el control que deben realizar los encargados del control de tráfico aéreo junto al personal de mantenimiento, ya no solo debe estar al tanto del espacio aéreo sino que también del espacio físico, toda una compleja actividad a la que se suma la necesidad de mantener canales de comunicación directos y eficientes para poder controlar y minimizar los riesgos operacionales siempre presentes producto de la actividad humana y en donde la tecnología se convierte en la mejor oportunidad para suavizar, controlar, identificar y dinamizar los procesos.

Teniendo en cuenta que una de las características más importantes de la tecnología es que los elementos que se producen casi siempre pueden ser utilizados en cualquier campo de la ciencia o de la actividad comercial, la problemática de identificación y control de espacios de parqueo para aeronaves en las plataformas de los aeropuertos y para el caso de la investigación del área operativa del CACOM-4, puede encontrar la solución en

los sistemas inteligentes de parqueo, así como la identificación digital de aeronaves y el control de espacios que se manejan para vehículos en los aeropuertos, una alternativa eficiente y práctica que puede ser ajustada a las necesidades de control de tráfico en tierra que realizan las torres de control sobre los vehículos que se desplazan en plataforma.

Los sistemas inteligentes de guiado de vehículos están a la vanguardia de los avances tecnológicos, hoy no solo es posible conocer cuántos vehículos hay en zonas de parqueo, sino que también es posible saber cuántos se están desplazando, cuantos espacios quedan y el número de placa por zona de estacionamiento asignado. Variables que desde las posibilidades electrónicas pueden ser utilizadas en los aeropuertos para facilitar la labor de los controladores de tráfico aéreo y el personal implicado en el control de las áreas de la rampa.

Todo lo anterior es posible porque en cada zona de parqueo se han instalado equipos de detección electrónica y como argumenta (Herrera, 2018):

Los métodos para recolectar la información de los flujos que entran y salen de los estacionamientos incluyen un gran rango de tecnologías, desde las barreras de contacto, hasta las de bobinas de inducción, ultrasonido, rayos infrarrojos, microondas, rayos láser, efecto piezoeléctrico y los sensores de visión. (p.35). Como un ejemplo de la aplicación de estos sistemas, se tiene el caso del establecido en la nueva terminal T4, del aeropuerto de Madrid-Barajas, en España. Esta obra establece un estacionamiento con capacidad para 9000 vehículos, distribuidos en seis módulos, de cinco plantas cada uno.

Posee uno de los más modernos sistemas de control y gestión, incluyendo de forma complementaria a los sistemas tradicionales; la lectura automática de placas; la gestión y sistema de guiado a cajones libres, con detección de ocupación en todos los espacios del estacionamiento. De cara a potenciar la seguridad de estas instalaciones, se han instalado 270 cámaras de video vigilancia.

Dentro de este contexto donde se identifica a la tecnología como el eje para el crecimiento de las empresas comerciales, instituciones del estado y la vida del ciudadano común, aparecen herramientas que facilitan la generación, procesamiento, archivo y transmisión de la información en donde uno de los sectores más beneficiados ha sido la aviación.

1.4.2.1.1. Las TIC's en el campo de la aviación. Entendiendo que las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) son herramientas que facilitan la programación, administración, registro y comunicación de datos mediante soportes tecnológicos. Estas son hoy, parte fundamental en los procesos productivos y administrativos del sector

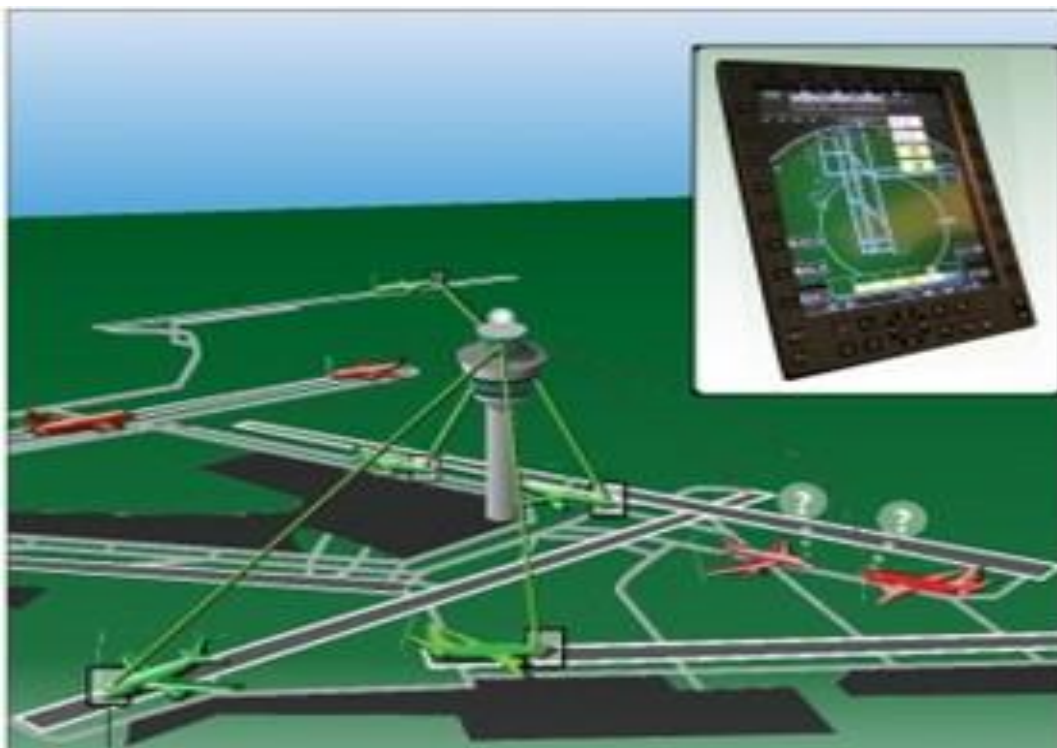
aeronáutico, ya que facilitan el uso, registro y control de importantes volúmenes de información para hacer más eficiente la gestión de todos los actores de esta actividad.

No es solamente en la aviación donde las TIC participan en procesos de manejo y procesamiento de información, adicionalmente, las TIC ofrecen varios servicios entre los cuales se destacan el correo electrónico, la búsqueda de información, la banca online, el audio y música, la televisión y el cine, el comercio electrónico, e-administración y e-gobierno, la sanidad, la educación, los videojuegos y los servicios móviles. En los últimos años han aparecido más servicios como los Peer to Peer (P2P), los blogs o las comunidades virtuales.

La importancia de estas herramientas tecnológicas en el sector de la aviación está demostrada en un proyecto que desarrolló la Universidad Tecnológica de Delft y que trata de un sistema de navegación automático para el aterrizaje de aeronaves, tipo Tom Tom que hará más eficiente el control del tráfico aéreo en los aeropuertos, como se muestra en la figura 4. Para tal fin los investigadores han tenido en cuenta el proceso evolutivo que han tenido las TIC y que ofrecen mayor seguridad en el control de la navegación aérea (Universitam, 2010).

Figura 4

Controlador Automático de Tráfico Aéreo



Fuente. Tomado de (Universitam, 2010)

El trabajo se centralizó en desarrollar un controlador automático de tráfico aéreo para el aterrizaje de aeronaves y mejorar los procesos de comunicación entre el piloto y el controlador de tráfico, tratando de eliminar el intercambio de datos innecesarios por medio de equipos electrónicos. Un esquema de este controlador se presenta en la figura 4. Básicamente reducir al máximo la transmisión de voz.

1.4.2.1.2. Los códigos de Barras y los Dispositivos de Identificación por Radiofrecuencia RFID. Todo este contexto evolutivo de la tecnología hace que los equipos que facilitan el manejo de las comunicaciones evolucionen también en su composición electrónica y la forma como se han de procesar y transmitir los datos, aspecto que ha sido tenido en cuenta durante una investigación desarrollada por la Secretaria de Tránsito y Transporte Mexicana (Herrera, 2018) sobre innovaciones en la tecnología aeroportuaria en beneficio de la seguridad operacional argumentando que:

En este rubro se han desarrollado tecnologías para prevenir las incursiones no autorizadas en pistas, o incluso la detección de piedras y otros objetos pequeños en las mismas, mediante tecnologías de rayo láser; también se incluyen las tecnologías para ahuyentar a las aves de los aeropuertos, mediante técnicas sonoras y de rayos láser; tratamientos antipatinaje de las pistas; sistemas para detener en las cabeceras de las pistas a aeronaves fuera de control; la implementación de estructuras frangibles dentro del aeropuerto, y en su periferia; nuevos sistemas de aterrizajes por instrumentos; y sistemas para la administración y detección de los vórtices generados por las aeronaves.

La investigación destaca que otras herramientas ideales para sistemas de identificación como los códigos de barras de cuyos antecedentes reseña (López , 2017), ilustrando que los sistemas de identificación datan su existencia desde la época antigua cuando se hizo necesario identificar productos alimenticios que eran comercializados por culturas como la de los fenicios y griegos. Básicamente la identificación se basaba en el nombre del producto, el peso, nombre del comerciante y la tara; pero fueron los romanos los que impulsaron el sistema de etiquetado para control de calidad y percepción fiscal.

De la misma forma el autor indica que desde entonces este sistema ha venido evolucionando hasta el siglo XVI con la aparición de etiquetas impresas, en 1840 etiquetas en color, hasta que en 1890 aparecen las tarjetas perforadas para el censo en los Estados Unidos. Posteriormente 1948 y 1949 se dan el salto tecnológico definitivo con la aparición de la primera identificación por medio de los códigos de barras creados por Bernard Silver y Joseph Woodland. Sistema que durante a la segunda guerra mundial fue utilizado para identificar aeronaves de guerra aliados (López , 2017)(p.2).

En la investigación de (Herrera, 2018), el autor destaca que los códigos de barras son efectivos solo cuando los sistemas de lectura se encuentran en un espacio reducido, siendo esta una debilidad de este sistema. Entonces plantea una solución práctica que tiene que ver directamente con crear modelos híbridos que combinan los dos sistemas, el código de barras con dispositivos de identificación por radiofrecuencia lo cual mejora el alcance de registro y seguimiento (Herrera, 2018), resaltando igualmente que según estudios de la IATA de los dos sistemas el más eficiente es el RFID con una eficiencia del 95 al 99% respecto al 80-90% que ofrecen los códigos de barras. La figura 5 presenta un paralelo entre la tecnología de códigos de barras y la tecnología RFID adoptado por (León Duarte, Re-Iniguez, & Romero Dessens, 2020).

Figura 5

Comparación Tecnología Código de Barras / Tecnología RFID

Atributo	Código de Barras	RFID
Tecnología	Tecnología de imagen óptica	Inalámbrica, de radiofrecuencia
Capacidad de datos	Hasta 24 caracteres en códigos lineales y hasta 2000 para bidimensionales	Miles de caracteres
Requerimientos de lectura	Se requiere una línea de visión	Requiere estar dentro del rango de detección
Durabilidad	Sujeta a daños, remoción y uso; no se puede leer si está sucia	Alta, puede estar sujeta a impacto ambiental.
Seguridad	Puede ser fácilmente reproducida la información	La información puede ser encriptada y borrada
Tasa de lectura	Lenta, una a la vez	Se leen varias etiquetas simultáneamente
Costos	La etiqueta cuesta menos de un centavo de dólar, y muchas compañías ya cuentan con la infraestructura necesaria.	Puede costar entre 10 centavos y 50 dólares cada una dependiendo de su capacidad.

Fuente. Tomado de (León Duarte, Re-Iniguez, & Romero Dessens, 2020).p.4.

Este sistema de identificación RFID aparece décadas posteriores a la existencia de los códigos de barras, sistema que permitía múltiples aplicaciones desde tarjetas con indicadores transponder para la apertura de puertas en hoteles y sistemas inteligentes de aperturas en las plantas nucleares que se abrían al paso de los vehículos autorizados que igual estaban equipados con un indicador trasponedor (López , 2017).

También ofrece la posibilidad de ser implementado en cualquier aérea de la actividad aeroportuaria, desde la identificación y ubicación de pasajeros, hasta la codificación de vehículos y aeronaves de tal forma que una central de control pueda en tiempo real,

establecer la ubicación y los desplazamientos que realicen los vehículos dentro de las rampas operativas.

De igual forma (López , 2017) describe el sistema de identificación RFID como un conjunto de tecnología inalámbrica que engloba frecuencias y estándares diferentes y los clasifica según frecuencias de operación, métodos de acoplamiento y rangos de detección. Así mismo (Herrera, 2018) afirma que estos sistemas de identificación tienen su alcance también al desarrollo de sistemas avanzados de información sobre los espacios para estacionamientos, ya que, como resultado de los incrementos en los volúmenes de tránsito aéreo, y del alto grado de dependencia de los automóviles para llegar vía terrestres hacia los aeropuertos han generado un crecimiento en a la demanda de espacio de parqueo vehicular convirtiéndose en un problema el hecho de no encontrar espacios y más aun no saber cuáles están disponibles. Es entonces este tipo de tecnología inteligente, una opción ideal para intentar dar solución a esta problemática. Aunque este tipo de tecnología se está aplicando en los aeropuertos específicamente para el movimiento y ubicación de los equipajes, el concepto de tarjetas inteligentes bajo sistema de identificación por radiofrecuencia puede ser implementada en cualquier actividad dentro de las plataformas aeroportuarias ya que le garantizan a los controladores aéreos y personal de control de rampas saber con exactitud los niveles de ocupación en determinados puntos de las plataformas que algunas veces escapan al control visual efectivo de un controlador, como es el caso de la zona operativa del CACOM-4.

1.4.2.1.4. Aplicaciones de la Tecnología RFID. Como lo referencia (Zorrilla, 2016) en la revista Ciencia y poder aéreo, el sistema de identificación RFID puede operar con cualquier tipo de bandas y no presenta limitaciones respecto a su uso, por ejemplo en acceso de vehículos a recintos cerrados como edificios usaría la banda de baja frecuencia(LF), para identificación y prescripción de productos médicos bandas de alta frecuencia (HF) y en actividades relacionadas con la logística y mantenimiento aeronáutico bandas de ultra alta frecuencia (UHF).

Las etiquetas de la tecnología RFID están insertas en diferentes campos de la actividad humana en aplicaciones que van desde el pago de peajes, hasta sofisticados procesos industriales y comerciales que requieren de la clasificación y registro de productos, materia prima e insumos de los cuales se referencian:

- ✓ **Cadenas de suministros:** manejo y rotación de inventarios.
- ✓ **Transporte y Logística:** ubicación y rastreo.

- ✓ **Hostelería:** control de mobiliario y equipos.
- ✓ **Alimentos y bebidas:** manejo de stock, precios, clasificación y calidad de producto.
- ✓ **Cuidado de la salud:** Inventarios, hospitalizaciones, equipos especiales.
- ✓ **Fabricación Industrial:** Inventarios, equipos, materia prima, insumos, control calidad.
- ✓ **Refinerías y plantas de gas:** ubicación de vehículos, equipos, herramientas y personas.
- ✓ **Investigación espacial:** inventario de equipos y piezas espaciales.
- ✓ **La aviación:** Es uno de los sectores que más sea beneficiado con las aplicaciones diversas que ofrece el sistema RFID y que van desde el registro de pasajeros, control de equipajes, seguimiento de piezas y reparables aeronáuticos, control de procesos de ingeniería, seguimiento a productos sintéticos de vida corta, gestión de registros históricos y hoy por hoy el control de acceso de vehicular a los aeropuertos.

1.5 METODOLOGÍA

Los aportes conceptuales de los tipos de investigación cuantitativa y cualitativa han facilitado el proceso de selección y análisis de la información pertinente al proyecto de investigación y que ofrece como producto final, un prototipo a escala con sistema de identificación electrónica para la asignación de puntos de parqueo en tiempo real de aeronaves del CACOM-4.

Para tal fin el proyecto fue estructurado en cuatro fases específicas que inician con la caracterización de la problemática identificada en el proceso de identificación y disponibilidad de puntos de parqueo para aeronaves en tiempo real en la zona operativa del CACOM-4. La segunda fase que documenta y analiza los resultados de proyectos relacionados con sistemas de identificación electrónica en puntos de parqueo y una tercera fase que define y caracteriza el tipo de tecnología a utilizar para desarrollar el modelo a escala del sistema de identificación propuesto para el CACOM-4 y la cuarta fase mostrar los resultados de las pruebas ejecutadas para el desarrollo del mismo.

Teniendo todo lo anteriormente descrito, la naturaleza técnica del proyecto y los requerimientos de flexibilidad, inmediatez y eficacia en el análisis de la información requerida para el logro de los objetivos propuestos, la investigación se estructura con el apoyo de los conceptos teóricos desarrollados en el tipo de metodología Ágil. (Goncalvez, 2020) describe el termino ágil dentro de esta metodología como una palabra que se usa en la industria de la tecnología de la información.

1.5.1 Población. La población objeto hacia la cual se dirige el proyecto corresponde al personal de mantenimiento, las tripulaciones de helicópteros y personal de controladores de tráfico aéreo del Comando Aéreo de Combate No.4, encargados de identificar y asignar puntos de parqueo de aeronaves en la zona operativa.

1.5.2 Muestra. La encuesta fue aplicada a 32 personas que tienen el perfil de oficial de mantenimiento, piloto, técnico de vuelo o controlador de tráfico aéreo.

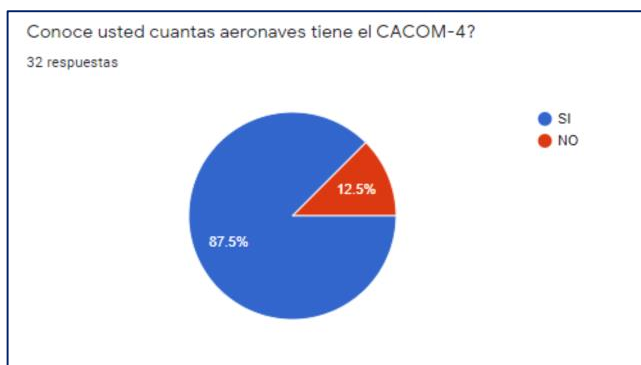
1.5.3 Técnica de recolección de datos. Para reunir información relacionada con la composición del problema, posibles soluciones y validación de la propuesta del autor, se aplicó la técnica de la encuesta la cual se puede ver en el anexo 1 a pilotos, técnicos de vuelo, personal de mantenimiento y controladores aéreos quienes tienen en la zona operativa el área de desempeño diario y además son conocedores de la problemática existente, relacionada con la dificultad de ubicar e identificar aeronaves y espacios libres de parqueo en esta área.

1.5.4 Análisis de resultados. De acuerdo a las respuestas suministradas en el formato de encuestas se puede deducir los siguientes aspectos:

1. ¿Conoce usted cuantas aeronaves tiene el CACOM-4? Tal como se evidencia e la figura 6, el 87.5% de los encuestados sabe cuántas aeronaves posee el CACOM-4, lo cual demuestra que este personal conoce de cerca aspectos por mejorar respecto al apoyo logístico que requiere la Unidad para el mejoramiento de las condiciones de seguridad en operaciones aéreas. Es muy probable que el 12.5% de los encuestados que respondió negativamente sea personal recién trasladado o que este adelantando curso de vuelo.

Figura 6.

Conocimiento de Cantidad de Aeronaves CACOM-4



2. ¿Sabe usted cuántos spots tiene CACOM-4?. El 75% de los encuestados afirma que conocen la cantidad de spots que tiene la Unidad para parqueo de aeronaves. El 25% que contesto no, es probable que nunca se hayan preocupado por conocer este dato o se desempeñan en cargos que no les obliga a conocer este ítem. Aspectos que están representados en la figura 7.

Figura 7

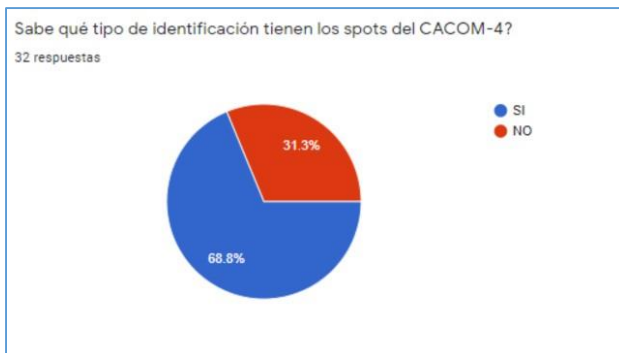
Conocimiento Cantidad de Spots CACOM-4



3. ¿Sabe qué tipo de identificación tienen los spots del CACOM-4? La figura 8 demuestra que el 68% conoce el tipo de identificación que tienen los spots en el CACOM-4. El 32% desconoce este aspecto, siendo un factor que incide en dificultad para ubicar los espacios de parqueo, representado mayores desplazamientos del personal en rampa.

Figura 8

Conocimiento Sobre Tipo de Identificación para los Spots de CACOM--4

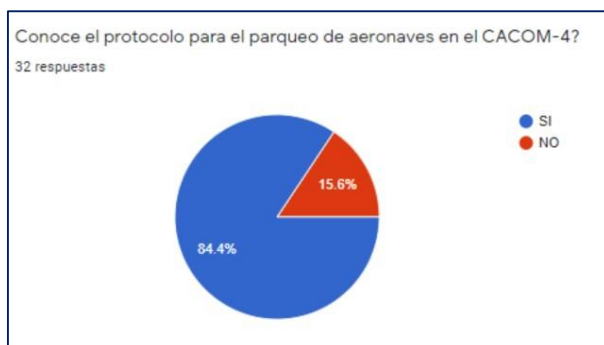


4. ¿De qué manera conoce usted cuando un spot esta libre para parqueo? 29 de los encuestados asegura que la única forma de verificar la disponibilidad de parqueo es de forma visual y 03 afirman requerir apoyo de los controladores aéreos o los oficiales del Centro de Control de Operaciones.

5. ¿Conoce el protocolo para el parqueo de aeronaves en el CACOM-4? Según la figura 9, el 84.4% conoce los protocolos, aspecto que minimiza los riesgos de seguridad en la zona operativa pero que no garantiza agilidad para la ubicación de espacios libres.

Figura 9

Conocimiento Sobre Protocolos de Parqueo de Aeronaves



6. Según su criterio y experiencia, ¿cuáles cree usted que son los riesgos de tipo operacional que se presentan en la zona operativa por no conocer los spots donde se encuentran parqueadas las aeronaves? En resumen, los encuestados referenciaron riesgos tales como

- ✓ Incursiones en pista, siendo este factor el que más llamó la atención
- ✓ Riesgo de lesiones a personas cuando se acercan sin conocimiento a las aeronaves
- ✓ Posibles colisiones en tierra.
- ✓ Demoras en el taxeo.
- ✓ Parqueo en spot equivocado.
- ✓ Demoras en la salida de las aeronaves y más aún cuando se trata de una reacción en apoyo de orden público u otro tipo de misiones de emergencia.

7. ¿Ha sufrido algún evento de seguridad por causa del tráfico de aeronaves, equipos de apoyo y personal dentro de la zona operativa por no conocer los spots donde se encuentran parqueadas las aeronaves? La figura 10 permite interpretar que, aunque el porcentaje de afectados con eventos de seguridad es bajo 18.8%, supera los dos dígitos y ya es motivo de preocupación que vale la pena tener en cuenta para soportar la necesidad de implementar nuevos sistemas de identificación y ubicación de puntos de parqueo e incrementar el porcentaje de no afectados que está en el 81.2%.

Figura 10

Reporte de Eventos de Seguridad por Causa del Tráfico Aéreo en Tierra



8. ¿Cuáles son las dificultades que experimenta a la hora de ubicar una aeronave en la zona operativa? Entre las dificultades más relevantes se destacan

✓ La imposibilidad de identificar con certeza el número de cola asignado ha determinado spot, aspecto que retrasa las actividades de prevuelo y salida con más incidencia en horario nocturno.

✓ Ejercicios de tanqueo en caliente de aeronaves ya que para este fin se deben utilizar los spots cercanos a los hidrantes.

✓ Taxeo de las aeronaves generando cansancio y estrés sobre todo cuando se registran altas temperaturas en el ambiente.

✓ Dificultad en la comunicación con la torre de control para conocer en tiempo real la verdadera ubicación de las aeronaves.

9. ¿Se ha cancelado o demorado en la salida a una misión de vuelo por dificultades en la ubicación de la aeronave en los spots de parqueo? La figura 11 evidencia que definitivamente, la dificultad para identificar y ubicar spots libres para el parqueo y aeronaves establecidas ha generado demora en la salida de las misiones de vuelo y así lo manifestaron el 75% de los encuestados.

Figura 11

Reporte de Demora o cancelación de Vuelos por Factor Spot



10. ¿Creé usted qué es oportuno implementar un sistema de identificación electrónica para ubicar spots libres dentro de la zona operativa? En la figura 12 está representado que el 96.9% de los encuestados está totalmente de acuerdo con la idea de implementar

un sistema de identificación electrónica de puntos de parqueo para las aeronaves. Esta respuesta válida y justifica la propuesta presentada en este proyecto de investigación, siendo definitivamente un aporte a la seguridad y la mejora de las condiciones de trabajo del personal de controladores de tráfico aéreo, tripulaciones de vuelo y personal de mantenimiento que a diario requieren ubicar las aeronaves en la zona operativa.

Figura 12

Viabilidad Sistema de Identificación Electrónica de Spots



11. Qué sugerencias puede aportar para mejorar el proceso de identificación y asignación de puntos de parqueo para aeronaves en CACOM-4? Son múltiples las sugerencias entre las cuales se destacan:

- ✓ Reorganizar y adecuar nuevamente los spots de la unidad para tratar de hacerlos más visibles.
- ✓ Ampliar las plataformas de parqueo según la cantidad de aeronaves en el CACOM-4.
- ✓ Asignar spots fijos por número de cola, con ello ninguna otra aeronave dispondrá del espacio y cuando una aeronave que no pertenezca a la Unidad o que sea nueva, se asignará a una rampa especial con spots sin asignación específica.
- ✓ Implementar el sistema de identificación electrónica anclado a una aplicación en los celulares de las tripulaciones o el personal que se desplaza en la rampa.

✓ Finalmente, otros encuestados consideran que la instalación de cámaras de video en la rampa y buena comunicación entre la torre de control y el servicio SCOR (Suboficial Control de Rampa) mejorará las condiciones de identificación y ubicación de los espacios de parqueo.

1.5.5 Impacto de los resultados del proyecto. La propuesta de diseño del prototipo a escala para un sistema de identificación electrónica de puntos de parqueo para las aeronaves del CACOM-4, impactará positivamente:

✓ El desempeño de los controladores de tráfico aéreo que gracias a este sistema podrá en tiempo real ubicar y asignar espacios de parqueo de manera ágil y segura, reduciendo tiempos en el proceso.

✓ Los niveles de seguridad en tierra para tripulantes, pilotos y personal de mantenimiento y apoyo logístico que tienen que desplazarse en la rampa operativa.

✓ El ejercicio de operaciones aéreas de manera segura y dentro de los tiempos previstos de reacción sin que se vean afectados por el factor ubicación de spots.

✓ El desempeño del personal que presta los servicios de oficial de mantenimiento, técnico de servicio y suboficiales de la línea de vuelo, quienes por el tipo de funciones que cumplen, deben estar movilizand o aeronaves en rampa para las operaciones, instrucción, pruebas en tierra o trabajos de mantenimiento en línea.

✓ El prototipo del sistema de identificación electrónica deja abierta la posibilidad de realizar un análisis de viabilidad por parte del comandante de la Unidad, segundo comandante, los comandantes del Grupo de Combate y Grupo Técnico para que el proyecto sea desarrollado a escala real.

CAPÍTULO II

2. SISTEMAS DE IDENTIFICACIÓN ELECTRÓNICA PARA LA OPTIMIZACIÓN DE TIEMPOS EN LA UBICACIÓN Y ASIGNACIÓN DE PUNTOS DE PARQUEO DE VEHÍCULOS

En este capítulo caracteriza sistemas de identificación electrónica que pueden ser utilizados para desarrollar modelos de optimización de tiempos en la ubicación y asignación de puntos de parqueo de vehículos.

2.1 SISTEMAS DE IDENTIFICACIÓN MEDIANTE RFID (RADIO-FREQUENCY IDENTIFICATION)

Tal como se describe en un artículo publicado en el portal ITAL (Informatic Technology and libraries) sobre comunicación de campo cercano y en específico en el manejo de información en las bibliotecas mediante tecnología RFID, el autor destaca:

En la tecnología RFID las ondas de radio pueden enviar información a receptores situados hasta cientos de metros de distancia dependiendo de la frecuencia de la banda utilizada por la etiqueta. Si se les proporciona con una gran potencia, estas señales también pueden enviarse a distancias extremas (por ejemplo, en el caso de los radares de aeropuerto). En los grandes aeropuertos suele controlar el tráfico en un radio de 100 kilómetros del aeropuerto por debajo de una altitud de 25.000 pies. La RFID también se utiliza con mucha frecuencia en el seguimiento de animales y vehículos. (Kumar Singh, 2020)

2.1.1 Generalidades de la Identificación por Radiofrecuencia RFID. Debilidades en el sistema de identificación por códigos de barras como la baja capacidad de almacenamiento de datos y la imposibilidad de ser modificados (reprogramados), dio origen a la tecnología RFID que consiste en usar chips de silicio que pueden transferir los datos al lector sin contacto físico. Mediante el uso de esta tecnología se puede almacenar y recuperar datos de manera remota por medio de transmisión de ondas de radio (Herrera, 2018, pág. 21).

Mediante etiquetas adheridas a los elementos se envía la información a las antenas, utilizando frecuencias tales como 135 kHz y 13.56 Mhz con rangos de lectura inferiores a 1 m. Bandas de frecuencias UHF (860-960 MHz) y microondas (2.5 GHz y 5.8 GHz)

se utilizan para sistemas de largo alcance con lecturas superiores a 1 m. (López , 2017, pág. 31).

2.1.2 Funcionamiento del sistema RFID. La tarjeta RFID. que posee la información del objeto produce una señal de radiofrecuencia que es captada por lectores como los que se presentan en la figura 13, los cuales leen los datos y transforman la información en formato digital (Herrera, 2018, pág. 21).

Figura 13
Lectores RFID



Nota. Tomado de (Herrera, 2018). (<http://www.rfidsupplychain.com>)

2.1.3 Categorías de sistemas RFID. Los sistemas RFID presentan dos grandes categorías, RFID pasivos y RFID activos, los cuales se describen a continuación.

2.1.3.1 RFID Pasivo. Los sistemas de identificación mediante RFID (Radio-Frequency Identification), se presentan como una opción tecnológica válida y consisten básicamente en un sistema identificación por radiofrecuencia el cual se compone de una etiqueta electrónica que cumple la función de transmisor y de un receptor de señal para procesamiento de los datos.

Generalmente no poseen elementos o partes móviles, ni fuentes de alimentación de energía ya que reciben poder justo en el momento de efectuarse la lectura, proceso denominado acoplamiento inductivo. Esta condición les asegura vida útil más larga y el riesgo de avería es menor. La simpleza técnica de este tipo de tarjetas, no tener funciones adicionales, bajo costo, la duración y la confiabilidad que ofrecen, las hace convenientes para almacenamiento de datos por espacios de tiempo prolongados. A pesar de ello posee como desventaja, poca capacidad para el almacenamiento de datos, la

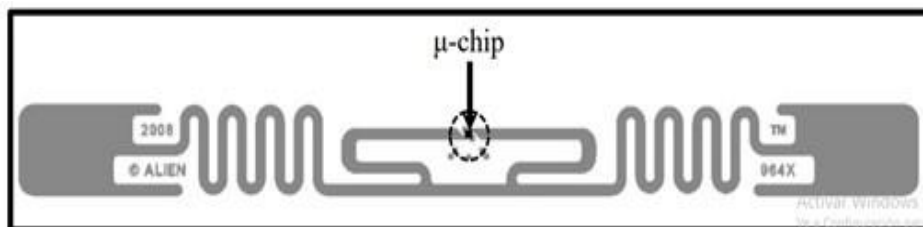
imposibilidad de añadir funciones, y la necesidad de un middleware o software de datos para realizar el trabajo duro (Miller, 2019).

De acuerdo con (Taltix, 2020), el mercado clasifica este tipo de etiquetas en dos categorías: etiquetas duras o de incrustación. Las duras existen en diferentes tamaños y formas, se elaboran en metal, plástico o papel, son más duraderas y se utilizan con una sola función. Las de incrustación se componen de un microchip y una antena y se subdividen en húmedas que normalmente se unen a materiales como el PVT o PET por medio de un adhesivo y de papel blanco o polietileno y se utilizan para casos en los que se requieren signos impresos o logotipos.

Con respecto a las frecuencias de operación existen tres, las de baja frecuencia (125 a 134 kHz) con una longitud de onda larga, con un rango de lectura corto (de uno a diez centímetros). Un ejemplo de su uso es en el seguimiento de animales debido a que no es afectada por el agua o metales. Alta frecuencia (13.56 MHz) para longitud de onda media y rango de lectura de un centímetro hasta un metro, usada en controles de acceso y aplicaciones que no necesitan rango de lectura largo. Frecuencia ultra alta (865 a 960 MHz) UHF, para longitud de onda corta de alta energía, leen distancias de seis a 30 metros aproximadamente, usada para seguimiento de activos de tecnologías de la información y aplicaciones con rangos de lectura superiores a un metro. (Taltix, 2020).

Dentro del sistema pasivo, se encuentra el tipo RAIN. (Radio frequency Identification), que opera con banda ancha y ofrece la posibilidad de conectar billones de dispositivos a internet proporcionando servicios de identificación, localización, autenticación y compraventa en tiempo real. Este sistema está compuesto por una etiqueta radiante o acoplador electromagnético y un microchip que contiene la información del objeto etiquetado como se muestra en la figura 14.

Figura 14
Etiqueta RFID ALN-9640

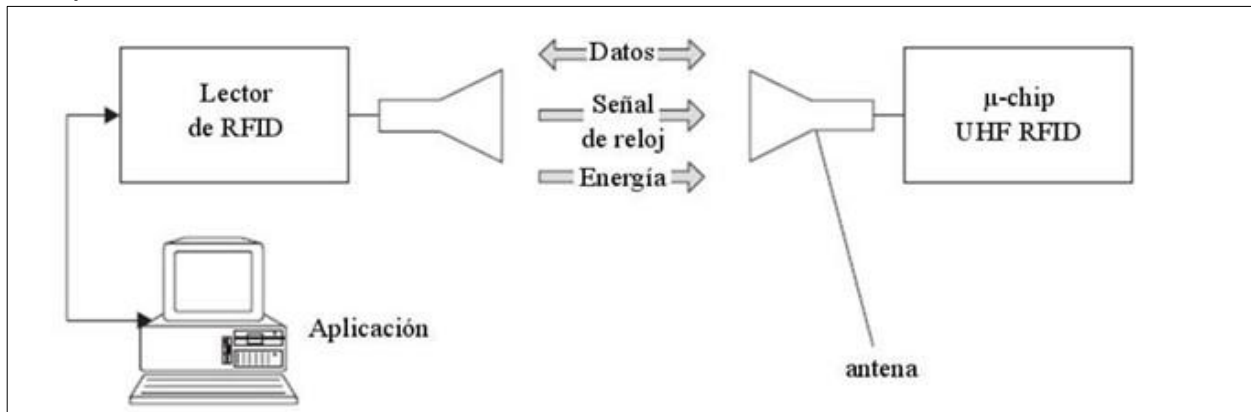


Fuente. Tomado de (López , 2017).
(<https://www.alientechnology.com/products/tags/squiggle/>)

En este tipo de sistema, las tarjetas se activan cuando entra en la zona de interrogador de un lector, estas reciben la potencia necesaria para ser activadas adicional a la señal de reloj y datos mediante un acoplamiento electromagnético con el lector, como se evidencia en la figura 15. (López , 2017).

Figura 15

Componentes de un Sistema RFID



Fuente. Tomado de (López , 2017)

2.1.3.2 RLTS Activo. RTLS (Real-time locating system), es el uso de la tecnología RFID activa para localizar la ubicación específica de un producto utilizando un tag. De acuerdo con los autores (Kumar Singh, 2020), este sistema, identifica y rastrea automáticamente la localización de objetos o personas en tiempo real.

En edificios o en áreas cerradas, mediante comunicación por radiofrecuencia (RF), con tecnologías ópticas (usualmente infrarrojas) o acústicas (usualmente ultrasonido), este sistema se ha convertido dentro de los esquemas de seguridad, en una prioridad que requiere de estudio y esfuerzo económico.

En este tipo de tecnología, la información se transmite a intervalos de tiempo predeterminados a lo largo de grandes distancias. Los datos son recolectados por un software, el cual calcula y reporta en tiempo real la ubicación de los productos identificados con el tag. Este proceso se logra mediante un sistema de triangulación que consiste en la medición de la distancia de un tag desde tres puntos de acceso situados en un área específica.

Primero la señal es enviada desde el tag a un punto de acceso en la antena. Posteriormente, es calculada la distancia según el tiempo que la señal se demore en

recorrer dicha distancia. La triangulación permite dar excelentes niveles de precisión. RTLS se utiliza para el rastreo de productos de alto valor, tales como vehículos, contenedores y equipamiento médico entre otros. (Telectrónica, 2018).

En la investigación sobre innovaciones en la tecnología aeroportuaria de (Herrera, 2018), se argumenta que las etiquetas activas, utilizan energía propia para energizar los ciclos integrados y enviar la señal al lector, tienen el tamaño de una moneda, un excelente alcance que supera los 100 metros, con más potencia en la señal y baterías que duran más de 10 años, aspectos que le generan alta confiabilidad. (p.22)

El tipo de aplicación y la frecuencia de operación son factores que inciden en el tipo de antenas que utilizan estas etiquetas. Con frecuencias altas (HF, 13.56 MHz), se logran alcances importantes en decenas de centímetros, mediante antenas espirales planas y un factor de forma muy parecido a una tarjeta de crédito, mientras que las de frecuencias bajas (LF, 125 a 134 kHz; y 140 a 148.5 kHz), se sirven de la inducción electromagnética.

Para las etiquetas pasivas de frecuencia ultra-alta (UHF, 868-956 MHz) y de microondas (de 2.45 GHz), se acoplan por radio a la antena del lector y utilizan antenas clásicas de dipolo. (p.23).

De acuerdo a las características técnicas y bondades de este sistema de identificación las aplicaciones más comunes tienen que ver con:

- ✓ Ubicación de operarios, detección de vehículos de carga y sistemas de anticollisión en tiempo real en áreas de explotación como la minería, gasoductos entre otros.
- ✓ Manufactura CPG (Consumer Packed Goods): Se utiliza la tecnología para la trazabilidad de productos por lotes y cantidades.
- ✓ Manufactura Discreta/Continua: Ubicación rápida y segura productos individuales, por lotes y equipos de producción.
- ✓ Logística: ubicación de vehículos de transporte de productos y materiales.
- ✓ Puertos Marítimos: Para la ubicación de contenedores y vehículos en los patios de almacenamiento.

✓ Sistemas de control de parqueo vehicular.

Aunque los RTLS ofrecen ventajas importantes no son fáciles de implementar y la preocupación radica en el control de las debilidades como reflexiones, refracciones, absorción e interferencia de RF que pueden alterar en determinando momento las mediciones lo que ha hecho que la certificación de las mediciones solo se dé en rangos de 2 a 5 metros haciendo costoso el proceso.

De acuerdo con (Bizdata, 2020), los sistemas de identificación RTLS se apoyan en plataformas tecnológicas que, de acuerdo a la aplicabilidad y necesidades específicas, se adecuan para el logro de resultados efectivos en cuanto a tiempo, precisión, capacidad de ubicación, latencia de la señal, precio, cobertura de la señal, escalabilidad del sistema, etc. En la tabla 4, se muestra un breve análisis de las tecnologías más comunes usadas actualmente en RTLS:

Tabla 4
Tecnologías más Comunes Usadas en RTLS

Tecnologías más Comunes Usadas Actualmente en RTLS						
Tecnología	Identificación / Detección Presencia	Precisión	Rango (m)	Consumo Energía	Coste	Desventajas
BLE	●	m	1 – 20	Muy Baja	●	Uso banda ISM, interferencias, bajo alcance
WiFi	●	m	1 – 50	Alta	●●●	Uso banda ISM, interferencias
UWB	●	cm – dm	1 – 50	Alta	●●●●●	Falta estandarización y menor implantación mercado
RFID	●	dm – m	1 – 50	Baja	●●●●	Bajo alcance y baja cobertura; comunicaciones no seguras

Fuente. (Bizdata, 2020)

2.1.3.3 Comparación de las tecnologías RFID Pasivo y RTLS Activo. La investigación sobre Innovaciones en la tecnología aeroportuaria de (Herrera, 2018), se registra que:

Las etiquetas RFID pueden ser activas, semipasivas (o semiactivas, también conocidas como asistidas por batería), o pasivas. Las etiquetas pasivas no requieren ninguna fuente de alimentación interna, y son en efecto dispositivos puramente pasivos (sólo se activan cuando un lector se encuentra cerca para suministrarles la energía necesaria). Los otros dos tipos necesitan alimentación; comúnmente, una pila pequeña. Las etiquetas pasivas

suelen tener distancias de uso práctico, comprendidas entre 10 centímetros y hasta 6 metros, según la frecuencia de funcionamiento, diseño y tamaño de la antena; y de la potencia en la que opera el lector (p.21).

En la tabla 5, se presenta una comparación de las dos tecnologías que permiten identificar cual es la más viable para la implementación del proyecto. Hay que destacar que, conforme a la aplicabilidad del proyecto, no se requiere rastrear la aeronave sobre el aeródromo, sino conocer la condición de disponibilidad de determinado spot, ocupado o libre. Si está ocupado, identificar el tipo, numero de aeronave y ubicación en la rampa como se ilustra en la figura 16, así los controladores de tráfico aéreo determinan acertadamente la disponibilidad del spot, reduciendo tiempos y riesgos de seguridad.

Tabla 5
Comparación Tecnología RFID y RTLS

RFID Pasivo	RTLS Activo
No requiere potencia interna	Requiere potencia
Larga vida útil	Corta vida útil
Rango medio o corto	Rangos Altos
Bajos costos por circuito	Altos costos por circuito

Fuente. Elaboración propia

Figura 16
Aeronave Sobre Spot de Parqueo



Fuente. Fotografía tomada por el autor

Por lo anterior, se ha seleccionado el diseño del prototipo a escala y simulación mediante la tecnología RFID (Radio-Frequency Identification).

2.1.4 Caracterización de las tarjetas RFID. Existen parámetros especiales que se deben considerar al momento de establecer el uso de las etiquetas de tecnología RFID que son reseñados a continuación.

2.1.4.1 Balance de Potencias. En (López , 2017) se establece que para que una comunicación tenga éxito entre una etiqueta y un lector, es necesario que la potencia recibida por el microchip RFID sea superior a su sensibilidad y calcular el balance de potencias para la transferencia de datos.

2.1.4.2 Estándares RFID y UHF. Con respecto a las regulaciones del espectro que se asigna a cada una de las bandas, estas corresponden a las disposiciones estatales de cada país. Los cuales asignan las frecuencias, límites de potencia para las antenas lector y otras regulaciones de comunicaciones de orden interno. Los márgenes de frecuencia más utilizados están entre 865.6 MHz - 867.6 MHz y 902 MHz - 928 MHz siendo estos últimos los más usados por Estados Unidos. (López , 2017).

2.1.4.3 Polarización. Las antenas para lectores RFID están polarizadas circularmente para poder detectar las etiquetas.

2.1.4.4 Realizable y Potencia de Activación. Según (López , 2017), La ganancia es de gran utilidad para realizar comparaciones con diferentes diseños y es calculada mediante el producto de ganancia de la antena de la etiqueta y el coeficiente de transmisión de potencia de la etiqueta y está relacionada con la potencia de activación del chip. Esta potencia de activación hace referencia a la mínima potencia transmitida por el lector que hace que se active la etiqueta. (p.25).

2.1.4.5 Ancho de banda. Es un parametro desiscivo en el rendimiento del sistema a pesar de que los anchos asignados son estrechos, puede ser definido como el margen de frecuencias para el cual el rango de lectura de una etiqueta perfectamente adaptada se reduce al 70%.(p.31)

2.1.4.6 Microchips y sensibilidad. La eficiencia de las tarjetas RFID depende en gran medida de los microchips que, gracias a los avances tecnológicos, han mejorado la calidad en la sensibilidad de estos componentes, en la figura 17 se puede apreciar una relación de estos componentes donde se demuestra la mejor en el rango de lectura.

Figura 17
Microchips Impedancia y Sensibilidad

	Impedancia en modo lectura (@ 866 MHz)	P_s Lectura (dBm)	P_s lectura/escritura (dBm)
Alien Higgs-3 (AH3)	30.5 - j211 Ω	-18	-11.5
Alien Higgs-4 (AH4)	20.5 - j191 Ω	-20.5	-17
Alien Higgs-EC	18.5 - j214 Ω	-22.5	-19
EM4325	23.3 - j145 Ω	-8.3	-7

Fuente. Tomado de (López , 2017)

2.1.4.7 Antenas. De acuerdo con un estudio sobre el procesamiento adaptativo espaciotemporal para sistemas de antenas inteligentes de identificación por radiofrecuencia, se presenta la siguiente caracterización realizada por (Guerra Gómez, Viqueira Bernal, & Marante Rizo, 2018)

Las antenas son parte principal de los sistemas de comunicación inalámbrica. Con la creciente demanda de mayor velocidad de datos, mejor cobertura, capacidad, reducción del consumo de energía, supresión de interferencias y mitigación de trayectos múltiples; se necesitan sistemas de radiación más eficientes. Las antenas inteligentes brindan un futuro prometedor para lograr los objetivos antes mencionados mediante la introducción de un acceso múltiple por división de espacio (SDMA) en las nuevas generaciones de redes inalámbricas. Esta técnica de acceso medio proporciona filtrado espacial para enfrentar entornos de alto nivel de interferencia.

Hay tres tipos de antenas inteligentes: antenas de haz de conmutación, matrices en fase y antenas inteligentes adaptativas (ASA). El primero puede enfocar el patrón de radiación en un número finito de ángulos, cambiando entre lóbulos para maximizar la relación de potencia señal / ruido (SNR). El segundo puede ajustar dinámicamente la fase progresiva de alimentación de las celdas de la matriz para dirigir el lóbulo principal, cubriendo un rango continuo de ángulos. El último combina una antena de matriz y la teoría del procesamiento de señales digitales para hacer un sistema más inteligente.

2.2 TECNOLOGÍA NEAR-FIELD COMMUNICATION (NFC).

Un sistema de identificación electrónica existente en el mercado para el objetivo del proyecto es el tipo Near-field Communication (NFC), que básicamente es un sistema de comunicación inalámbrico de corto alcance que a pesar de que aún no incursiona en los sistemas de parqueo vehicular, tiene importantes características que se pueden tener en cuenta a la hora de realizar comparaciones de viabilidad para el proyecto.

Este sistema está siendo utilizado para el control de emisión de pasaportes electrónicos y controles de acceso, siendo garantía de seguridad para los datos registrados ya que evita que queden expuestos a la clonación o el robo de los mismos y por ello las tarjetas de identificación en este sistema inalámbrico, son tan pequeñas que pueden ubicarse en los bolsos, billeteras o en las mismas prendas de vestir de los usuarios. Tienen registrada una velocidad de transmisión de datos de 106 a 424 kilobits por segundo. A diferencia de la tecnología RFID, la NFC es exclusiva para comunicación de corto alcance, trabajando con frecuencia 13,56 MHz situada en la banda ISM, disponible en todo el mundo (Kumar Singh, 2020).

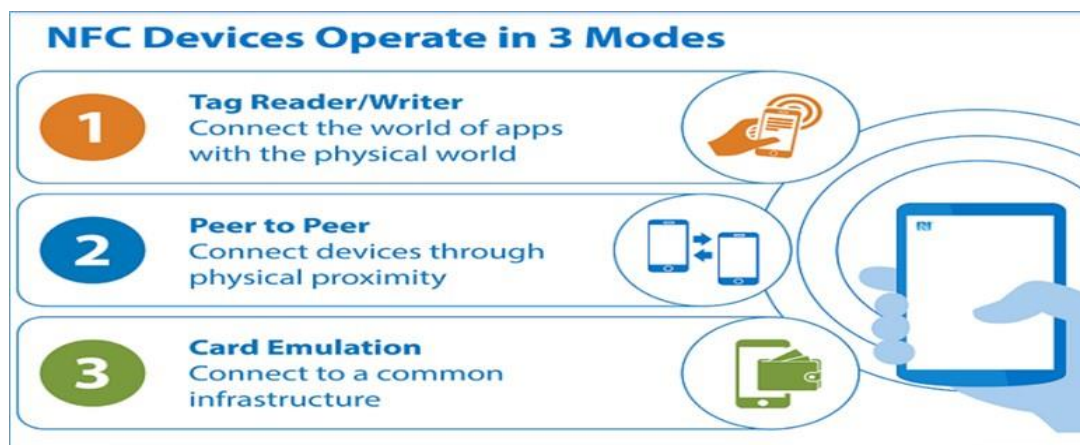
El sistema NFC representa comodidad y agilidad en el procesamiento y transmisión de los datos, pero con la limitante de cercanía o cobertura, lo cual significa que en dispositivos como el teléfono celular la acción de identificación solo es posible cuando hay cercanía del dispositivo a menos de 10 cms. Con respecto a la transmisión de los datos tanto la RFID como NFC juntas lo hacen a través de ondas de radio.

Las dos tecnologías, RFID y NFC trabajan el modo activo y pasivo para el intercambio de datos. En el modo activo, requieren de una fuente de alimentación para la salida de la señal y para el modo pasivo la señal utiliza energía de la señal activa.

2.2.1 Funcionamiento de NFC. La funcionalidad está dada en tres modos: modo lector/escritor de etiquetas; modo peer-to-peer y el modo de emulación de tarjetas (véase la figura 18). Para maximizar las capacidades de la NFC se utilizan especificaciones establecidas en las normas ISO/IEC 18092 NFC IP-1, JIS X 6319-4 e ISO/IEC 14443. De la misma manera se define que los estándares de tarjetas inteligentes sin contacto se denominan NFC-A, NFC-B y NFC-F para este tipo de tecnología.

Figura 18

Funcionamiento Dispositivos NFC



Fuente. Tomado de Near-field Communication (NFC). (Kumar Singh, 2020)p.3

2.2.2 Diferencias NFC y RFID. Aunque ya se ha destacado que una de las principales diferencias radica en la cobertura o distancia de lectura, que para las NFC es de muy corto alcance, determinado en centímetros y en la RFID la distancia se da en metros. En (Kumar Singh, 2020) se destacan adicionalmente otras diferencias así:

- ✓ A pesar de que las dos tecnologías funcionan por radiofrecuencias se considera que NFC es más reciente y es extensión de RFID. La RFID funciona en variadas y la NFC requiere frecuencia fija de 13,56 MHz
- ✓ La utilidad de RFID es diversa mientras y áreas amplias y no tan segura para datos personalizados, mientras NFC por la limitante de cercanía, solo se utiliza para transporte de datos sensibles de manera segura como pagos móviles, controles de acceso, etc.
- ✓ NFC tiene la capacidad de comunicarse en ambos sentidos y, por tanto, es adecuada para ser utilizada en interacciones avanzadas, como la emulación de tarjetas y el intercambio entre pares. Se pueden escanear varias etiquetas RFID simultáneamente, mientras que sólo se puede escanear una sola etiqueta NFC a la vez.

2.3 EL CÓDIGO DE BARRAS

Como sistema de identificación electrónica, el código de barras consiste básicamente en la impresión gráfica de unas barras en unas etiquetas (que después son pegadas a los artículos) o en los propios empaques o envases, que contienen información relacionada con el producto y que le permiten ser identificado o leído mediante un sistema láser. La generación de estas barras sigue unos estándares de codificación homologados, que actualmente son el EAN-13 y el EAN-128. (Mecalux, 2021).

Según (Correa Espinal, Alvarez López, & Gómez Montoya, 2010) referenciando a Myerson (2006), proporciona información tal como origen, destino, tipo de producto, información de la factura, entre otros aspectos claves en la identificación del producto. Los bajos costos de implementación, infraestructura tecnológica y multiplicidad de aplicaciones hacen de este sistema de identificación electrónica uno de los más utilizados involucrado en procesos de compra, distribución, inventarios y controles de acceso de productos (Correa Espinal, Alvarez López, & Gómez Montoya, 2010).

Este sistema de etiquetado se emplea, además de para los artículos, para identificar las ubicaciones de las estanterías, así como las estibas o contenedores (Mecalux, 2021). Tal como se muestra en la figura 19, el lector láser realiza la toma de datos y los transmite al software de gestión.

Figura 19

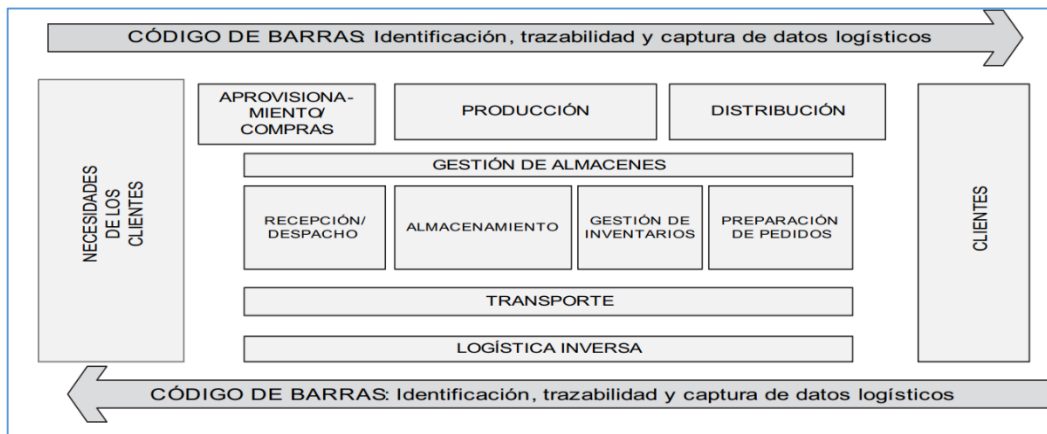
Ejemplo Etiqueta con Código de Barras EAN-13 en la que se Identifica el Producto.



Fuente. Tomado de Sistema de identificación código de barras. (Mecalux, 2021)

2.3.1 Utilidad de los códigos de barra. Como se evidencia en la figura 20, el código de barras en la cadena de suministro permite tratar aspectos generales como: identificación de productos y unidades logísticas, su trazabilidad y visibilidad (Myerson, 2006) y en cada uno de los procesos relacionados con el aprovisionamiento/compras, la gestión de almacenes, administración de inventarios, producción, transporte, distribución y el cliente (Correa Espinal, Alvarez López, & Gómez Montoya, 2010).

Figura 20
Código de Barras en la cadena de Suministros



Fuente. Tomado de Sistemas de identificación por radiofrecuencia. (Correa Espinal, Alvarez López, & Gómez Montoya, 2010)p.120.

- ✓ En cadenas de suministro para diseño y control de inventario.
- ✓ Controlar el movimiento de productos e incluso de personas.
- ✓ Controlar el acceso de productos o personas que estén previamente etiquetados.
- ✓ Control de movimientos en puntos de venta.
- ✓ Controlar la calidad.
- ✓ Para facturar productos.

2.3.2 Otras aplicaciones del código de barras. Algunas aplicaciones puntuales de otros autores sobre el código de barras en los procesos enunciados con anterioridad son citados en (Correa Espinal, Alvarez López, & Gómez Montoya, 2010):

- ✓ En el proceso de aprovisionamiento y compras, puede ser utilizado para la identificación y seguimiento de órdenes, documentos de proveedores e identificación de los productos en los catálogos de compra (Muller, 2003). Adicionalmente, puede ser coordinado con el sistema de administración de inventarios para emitir órdenes de compra automáticas, basadas en puntos de reorden predeterminados en el proceso (Meyers y Stephens, 2006).
- ✓ En procesamiento de pedidos se utiliza para la recopilación electrónica de información de los productos, lo cual puede acelerar y mejorar la precisión en las operaciones (Ballou, 2004).
- ✓ En la gestión de almacenes suele ser usado en la identificación de productos, estanterías y ubicaciones, alimentación del sistema de información logístico de la empresa, actividades de preparación de pedidos o packing y trazabilidad, las cuales suelen ser críticas para atender adecuadamente las necesidades de los clientes (Lambert, 2008).
- ✓ En los procesos de producción puede ser utilizado para identificar y realizar trazabilidad a los productos y capturar datos de listas de materiales, números de SKU (Stock Keep Unit), inventario en proceso, cantidad de desperdicios, máquina y operarios utilizados en la fabricación, y número de trabajo ejecutado (Muller, 2003).
- ✓ En los procesos de despacho, transporte y distribución, suele ser utilizado para el registro y salida de mercancía de los almacenes y la trazabilidad de los productos a través de sus medios de transporte, desde los puntos de venta y canales de distribución hasta el cliente final (Rahman y Raisinghani, 2000).

Finalmente, se puede concluir que el código de barras es un sistema de identificación posicionado en el medio empresarial con diversas aplicaciones que impactan procesos de la cadena de suministro desde el aprovisionamiento, pasando por la preparación de pedidos y producción, hasta la gestión de almacenes, control de inventarios, distribución y transporte.

Adicionalmente, se debe considerar que algunos de estos usos tienden a ser reemplazados y/o complementados por sistemas de radiofrecuencia (RFID), el cual ofrece beneficios tales como información en tiempo real y trazabilidad. (p.122).

2.3.3 Comparación tecnologías RFID – NFC – Código de barras. De acuerdo a desarrollo teórico anterior en la tabla 6

Tabla 6.

Comparación tecnología RFID, NFC y Código de barras

VARIABLE	RFID	NFC	CÓDIGO DE BARRAS
LECTURA E INFRAESTRUCTURA	Debe tener una etiqueta RFID y un lector. Legible sin visibilidad directa. Traspasa diferentes materiales.	NFC es capaz de desempeñar el papel de lector y de etiqueta.	Requiere línea de visión directa y alinear código con pistola de lectura
ALCANCE	De 2 cm en adelante	Hasta 10 cm	Menos de 10 cms
USO	El seguimiento de activos, la gestión de inventario, el control de acceso, el seguimiento de asistentes y el seguimiento de herramientas.	Transferencia segura de datos. Esta técnica se aplica en pagos sin contacto, intercambio de datos y carteles inteligentes.	Lectura de boletos, etiquetas, productos seriados, identificación de clientes, precios de productos, entre otros.
FRECUENCIAS	13.56 MHz - 865.6 MHz - 867.6 MHz y 902 MHz - 928 MHz	13.56 MHz	Utiliza láser
CAPACIDAD	Puede realizar capturas de información de varios productos de forma simultanea	Puede realizar lecturas de grandes volúmenes de información a la vez.	Identifican cada tipo de producto de forma individual uno a uno
DURABILIDAD	Resistentes a la humedad, polvo y temperaturas	Resistentes a la humedad, polvo y temperaturas	Se degradan en ambientes húmedos o altas temperaturas
COMPLEJIDAD DE APLICACIÓN	Utiliza un concepto simple en el que un lector extrae información de una etiqueta. El lector debe detectar ondas de radio de las etiquetas para capturar los datos. Puede leer automáticamente múltiples etiquetas de forma simultánea	Es una tecnología más compleja que permite operaciones de lectura / escritura. Esta función transforma su teléfono en digital y permite una comunicación impecable entre pares.	Requiere lecturas secuenciales, con intervención humana. No automática
COSTOS	Medio	Alto	Alto

CAPÍTULO III

3. TECNOLOGÍAS USADAS PARA EL DESARROLLO DEL PROTOTIPO

3.1 SISTEMA DE IDENTIFICACIÓN ELECTRÓNICA PARA EL PROTOTIPO DEL PROYECTO

Para el diseño del prototipo a escala, con sistema de identificación electrónica para asignación de puntos de parqueo de aeronaves en la zona operativa del CACOM-4, se utilizaron los elementos que se muestran en la figura 21.

Figura 21

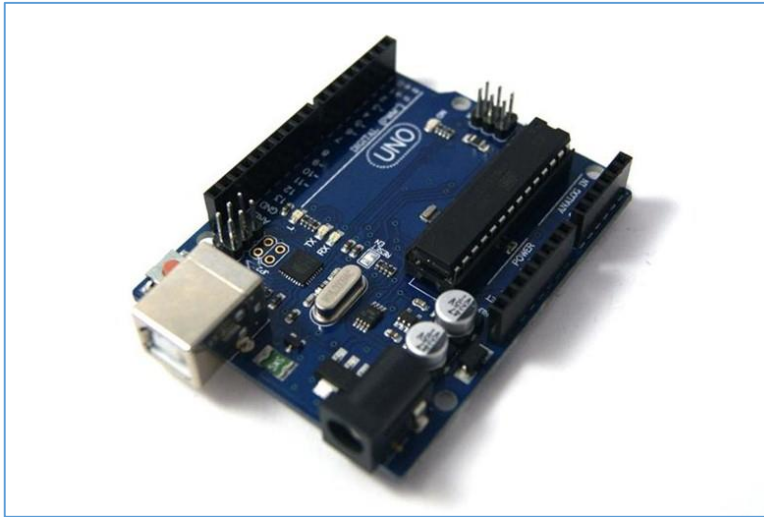
Elementos Necesarios para Efectuar la Simulación



Fuente. Tomado de Prometec. (<https://www.prometec.net/bt-hc05/>)

3.1.1 Módulo Arduino. Tal como se evidencia en la figura 22, es una placa electrónica basada en el microcontrolador ATmega328. Cuenta con 14 entradas y salidas digitales de las cuales, seis se pueden utilizar como salidas PWM (modulación por ancho de pulsos) y, otras seis son entradas analógicas. Además, incluye un resonador cerámico de 16 MHz, un conector USB, un conector de alimentación, una cabecera ICSP y un botón de reseteo (HETPRO, 2020).

Figura 22
Módulo Arduino Uno



Fuente. Tomado de (HETPRO, 2020)

El módulo Arduino presenta las siguientes especificaciones

Microcontrolador	ATmega328
Voltaje	5-12 Voltios
Pines digitales I/O	14 (6 PWM)
ADC	6
Corriente por pin I/O	40mA
Memoria Flash	32 KB
SRMA	2 KB
EEPROM	1 KB
Reloj	16 MHz

Para la simulación, el módulo se conecta a un ordenador por medio de cable USB y se usa como codificador y decodificador, el cual se comunica con el módulo RC522 por medio del protocolo SPI (Serial Peripheral Interface), controlándolo sincrónicamente mediante cuatro líneas de conexión:

SCLK	Línea de reloj o clock
MISO	Línea de datos entrantes o Master Input Slave Output
MOSI	Línea de datos salientes Master Output Slave Input
CS/SS	Línea de selección del chip o Chip Select or Slave Select

La programación se realiza con el entorno de programación de Arduino (IDE) y adicionalmente, evidencia que el programa funcione y muestre la información grabada en las tarjetas RFID.

3.1.2 Módulo RFID RC522. Una imagen de este módulo se puede apreciar en la figura 23 y funciona como lector y grabador de las tarjetas con tecnología RFID utilizando un sistema de modulación y demodulación de 13.56 MHz, en el prototipo opera como la base del spot donde se establecen las aeronaves.

Figura 23

Módulo RFID RC522



Fuente. Tomado de (HETPRO, 2020)

Adicionalmente y como se describe en (HETPRO, 2020), el módulo lector RFID-RC522 RF utiliza 3.3V como voltaje de alimentación y se controla a través del protocolo SPI. También puede ser controlada con un puerto UART. Por lo anterior es compatible con casi cualquier microcontrolador, Arduino o tarjeta de desarrollo.

3.1.3 Sensor de movimiento. Tal como se muestra en la figura 24, los sensores infrarrojos pasivos (PIR), son dispositivos para la detección de movimiento, cada sensor está dividido en dos campos, si ambos campos reciben la misma cantidad de infrarrojos la señal eléctrica resultante es nula y si los dos campos realizan una medición diferente se genera una señal eléctrica, es de esta forma que cuando un objeto cruza uno de los campos del sensor se genera una señal eléctrica diferencial y el emite una señal digital,

en la simulación se encargará de activar el dispositivo cuando la aeronave llegue o salga del spot de parqueo.

Figura 24

Sensor de Movimiento



Fuente. Tomado de (GARCIA, 2017).

3.1.4 Tarjetas RFID (TAGs). Los TAGs pasivos, figura 25, viene en diferentes modelos, los más comunes son en tarjetas los cuales son los que se usaran en la simulación representando cada aeronave. Los Tags tienen internamente una antena y un microchip los cuales son los encargados de poder realizar todo el proceso de comunicación, la energía requerida para su funcionamiento la obtiene de la señal de radiofrecuencia emitida por la antena del lector, la cual es suficiente para poder hacer trabajar el microchip.

Figura 25

Tarjetas RFID pasiva



Fuente. Tomado de (HETPRO, 2020)

CAPITULO IV

4. DISEÑO DEL PROTOTIPO

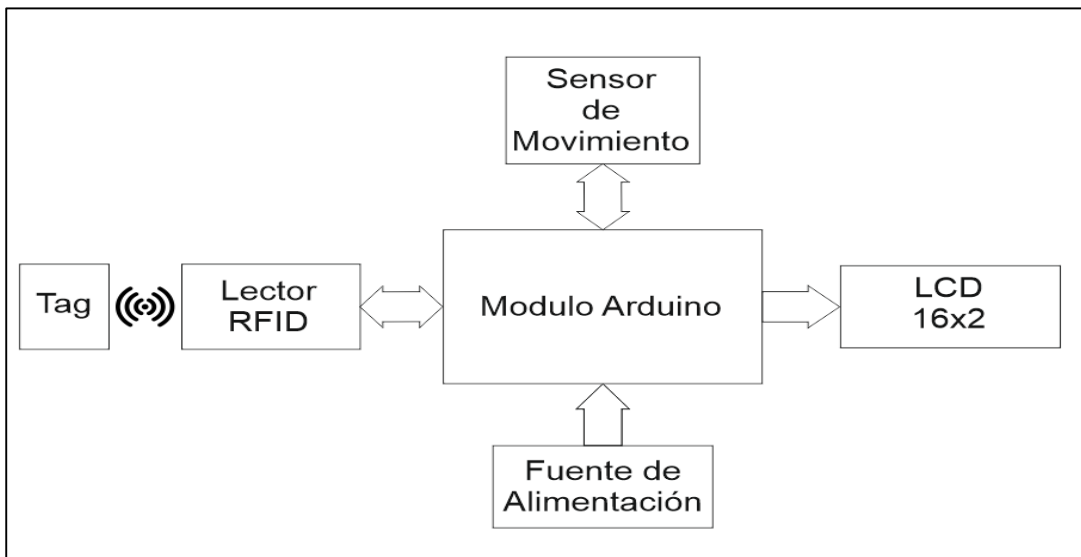
Este capítulo describe los pasos requeridos para el diseño del prototipo a escala con sistema de identificación electrónica para asignación de puntos de parqueo de aeronaves. Asimismo, define las especificaciones técnicas de los elementos usados y los algoritmos generados para el funcionamiento.

4.1 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Para el diseño del hardware se tiene en cuenta la relación entre los módulos de acuerdo al diagrama de bloques presentado en la figura 26 y los otros dispositivos que componen el prototipo.

Figura 26

Diagrama de Bloques Prototipo a Escala y Simulación



Fuente. Elaboración propia

4.1.1 Funcionamiento del prototipo. El funcionamiento del sistema inicia cuando la aeronave a escala llega a un spot de parqueo, en donde se activa el sistema lector de RFID y un sensor de movimiento. Este lector, lee el UID (Unique Identification Number) que está relacionado con un número de matrícula de la aeronave y que se encuentra también grabado en una tarjeta RFID. El lector, se encarga de extraer el número UID de la tarjeta, el dato es comparado con la matrícula de la aeronave a la cual fue asignada esta tarjeta, siendo verificada por el usuario final a través de una pantalla que indica que el spot se encuentra ocupado, con qué tipo de aeronave y su matrícula. Asimismo, si sale la aeronave y el spot queda vacío, el sistema indica en la pantalla que el spot se encuentra libre para ser asignado.

4.2 MÓDULOS PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA

A continuación, se describen los módulos principales que componen el diseño del sistema.

4.2.1 Alimentación. En la figura 27 se presentan los elementos que se utilizan para alimentar un módulo arduino, que para el caso del prototipo debe ser mediante un puerto USB. Sin embargo, para procesos independientes, se debe tener en cuenta que se puede usar la potencia eléctrica VAC, con un regulador de voltaje que mantiene el rango de voltaje recomendado entre 7 y 12 voltios VDC, con amperaje de 1A en la entrada de potencia. Una segunda opción, es alimentarlo con baterías. El módulo arduino permite usar distintos tipos de baterías siempre y cuando generen el voltaje requerido.

Figura 27

Fuentes Alimentación Arduino UNO

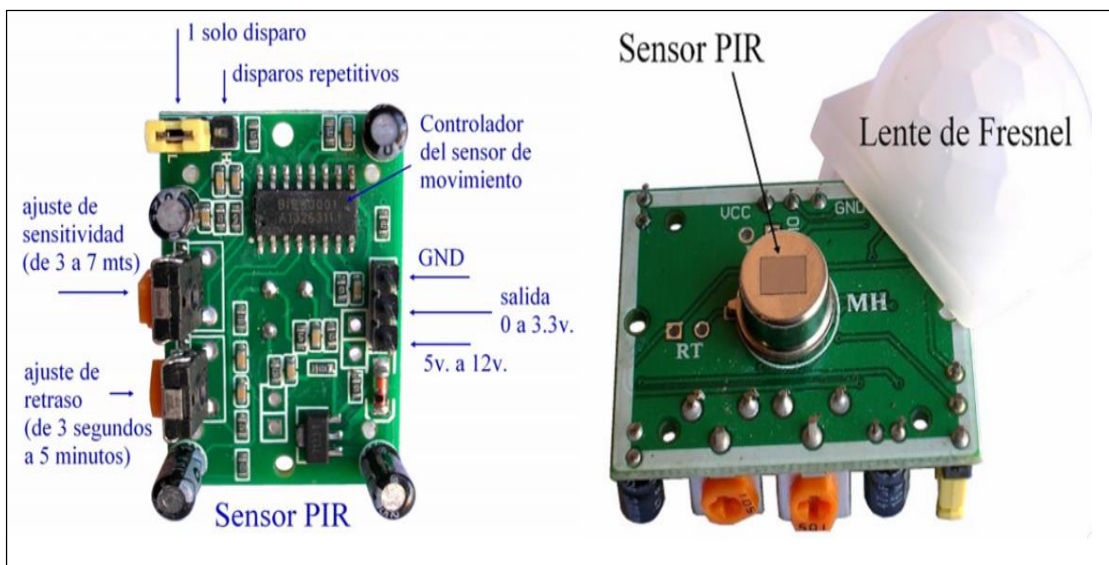


Fuente. Tomado de guía para alimentar Arduino

<http://www.bolanosdj.com.ar/MOVI/ARDUINO2/AlimentarArduino.pdf>

4.2.2 Sensado. Según la figura 28, el sistema de sensado usado es el PIR HC-SR501, que detecta el mínimo de radiación de bajo nivel y cuanto más caliente es un elemento, mayor radiación es emitida. La presencia de la aeronave sobre el spot, desprende calor y esta es la base del sistema de detección generado por la llegada o la salida de la aeronave a escala del spot simulado. Puede detectar movimientos hasta siete metros de distancia.

Figura 28
Sensor de Movimiento PIR HC-SR501



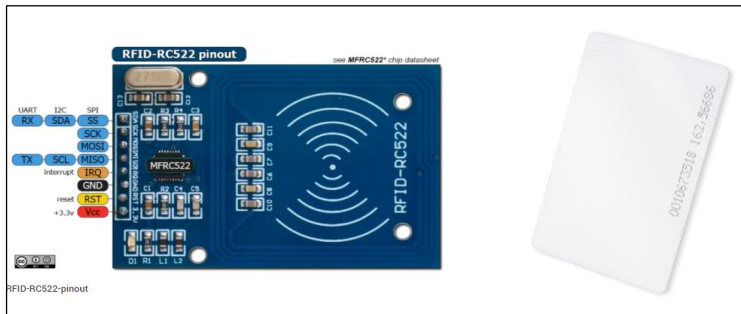
Fuente. Tomado de: (<https://puntoflotante.net/MANUAL-DEL-USUARIO-SENSOR-DE-MOVIMIENTO-PIR-HC-SR501.pdf>)

4.2.3 Lectura. En la figura 29 se presenta el lector RFID-RC522 de la aeronave a escala que cuenta con 64 bloques de memoria (0-63), donde se hace lectura.

Con esta información, se lee y reconoce el tipo y número de aeronave que llega al spot, utilizando un sistema avanzado de modulación y demodulación para todo tipo de dispositivos pasivos de 13.56Mhz. El sistema de lectura se alimenta con 3.3V y puede leer la tarjeta entre 2 y 6 cm.

Figura 29

Lector RFID RC522 y Tarjeta RFID

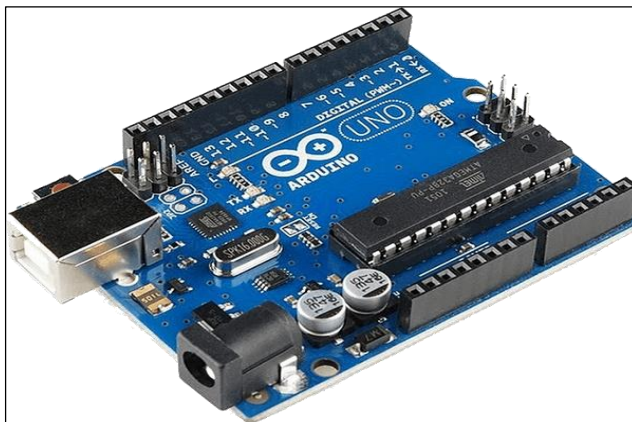


Fuente. Tomado de (<https://saber.patagoniatec.com/2016/07/lector-de-tarjetas-tags-rfid-rc522-13-56mhz-nfc/>)

4.2.4 Etapa de control. El controlador del prototipo a escala es el encargado del procesamiento de datos, el cual cuenta con entradas y salidas suficientes para poder establecer comunicación con el sensor de movimiento y el módulo lector. Para estos procesos un arduino como el que se presenta en la figura 30, tiene seis entradas digitales, dos entradas análogas, cinco salidas digitales, un puerto serial y se alimenta de 5 VDC a 12 VDC.

Figura 30

Módulo Arduino UNO

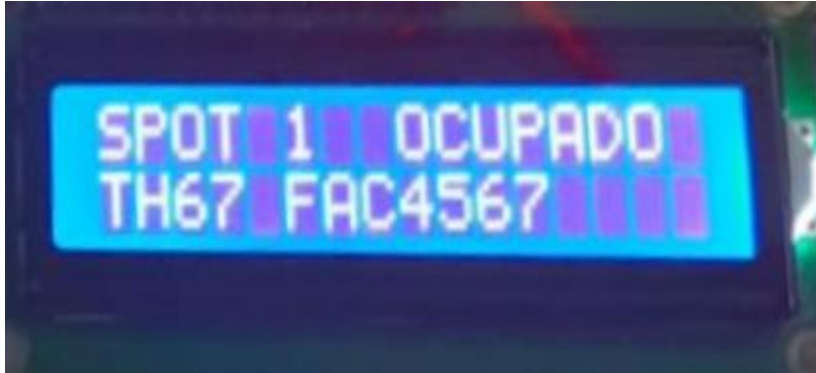


Fuente. Tomado de (<https://www.electronicaembajadores.com/es/Productos/Detalle/LCA1001/modulos-electronicos/arduino/arduino-arduino-uno-rev-3-a000066-original-a000066>)

4.2.5 Visualización. Para el prototipo a escala, la visualización del proceso de verificación de la disponibilidad del spot y que tipo de aeronave se encuentra en el mismo, se efectúa en dispositivos LCD (Liquid Cristal Display) de 16X2 que hace referencia a la capacidad de mostrar al mismo tiempo 16 caracteres de manera horizontal en dos renglones como se presenta en la figura 31.

Figura 31

Visualización mediante LCD



Fuente. Fotografía tomada por el autor

4.3 PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN

La comunicación entre el controlador y el lector se efectúa mediante protocolo SPI (Synchronous Peripheral Interface), este protocolo es un método sincrónico que trabaja para recibir y transmitir información, permitiendo que estos dos dispositivos se comuniquen entre sí al mismo tiempo, utilizando canales diferentes en el mismo cable.

Tiene cuatro líneas lógicas encargadas de realizar todo el proceso. La primera es la línea MOSI (Master Out Slave In), utilizada para llevar los bits que provienen del dispositivo maestro hacia el dispositivo esclavo. La segunda línea, MISO (Master In Slave Out), es la línea lógica y se utiliza para llevar los bits que provienen del dispositivo esclavo hacia el dispositivo maestro. La tercera línea, CLK (Clock), proviene del dispositivo maestro y se encarga de enviar la señal de reloj para sincronizar los dispositivos. Por último, la cuarta línea SS (Slave Select), encargada de seleccionar y habilitar un dispositivo esclavo.

Ahora la comunicación entre el LCD y el controlador se efectúa mediante protocolo I2C, que corresponde a un bus de comunicaciones en serie y las distintas tramas que pueden formarse en el bus. Estas tramas o modos dependen de si se necesita leer al dispositivo esclavo o si se requiere configurar. Este protocolo utiliza dos líneas para transmitir la

información: Serial Data – SDA y Serial CLock – SCL una para los datos y por otra la señal de reloj.

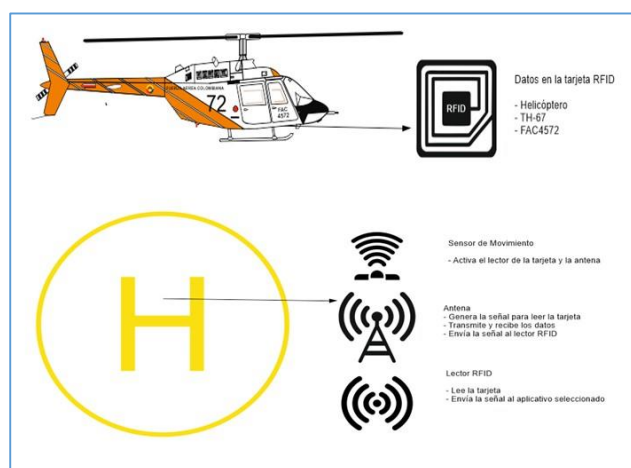
4.4 CONFIGURACIÓN DE LOS ELEMENTOS

Los datos digitales son codificados e integrados a etiquetas inteligentes las cuales serán instaladas a las aeronaves a escala. Estos datos son capturados mediante un lector a través de ondas de radio sin importar la línea de vista, identificándola de acuerdo al rango de ubicación seleccionado para lo cual se apoya de en un sistema decodificador (middleware).

Asimismo, los datos de identificación de la aeronave a escala se almacenan en la etiqueta y son transferidos al receptor de la señal mediante respuesta a las ondas de radiofrecuencia UHF emitidas por el lector. Este lector da el rango de uso y se encuentra ubicado en cada spot de parqueo. Esta configuración, permite que el sistema permanezca activo y junto a un sensor de movimiento permite evidenciar si un el spot se ocupa o está vacío junto con el procesamiento de los datos recibidos en el momento de aterrizaje de la aeronave en el spot de parqueo para la identificación, como se especifica en la figura 32.

Figura 32

Descripción Dispositivos Instalados en el Spot y la Aeronave



Fuente. Elaboración propia

Adicionalmente, mediante las pantallas LCD para el prototipo a escala, el sistema permite monitorear aeronaves que ubicadas en la rampa tal como se representa en la figura 33

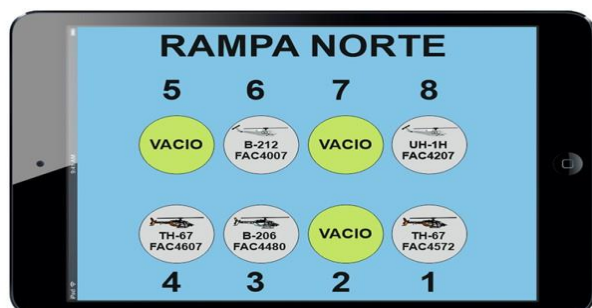
en donde se identifica que el spot 1 se encuentra ocupado por una aeronave del tipo TH-67 con matrícula FAC4567. En el caso de que se quiera implementar el proyecto de manera real, la información enviada a las pantallas LCD se puede cambiar por un aplicativo o software que permite el monitoreo de las aeronaves que se encuentran en rampa como se muestra en la figura 34.

Figura 33
Pantalla LCD



Fuente. Fotografía tomada por el autor

Figura 34
Ejemplo Aplicativo



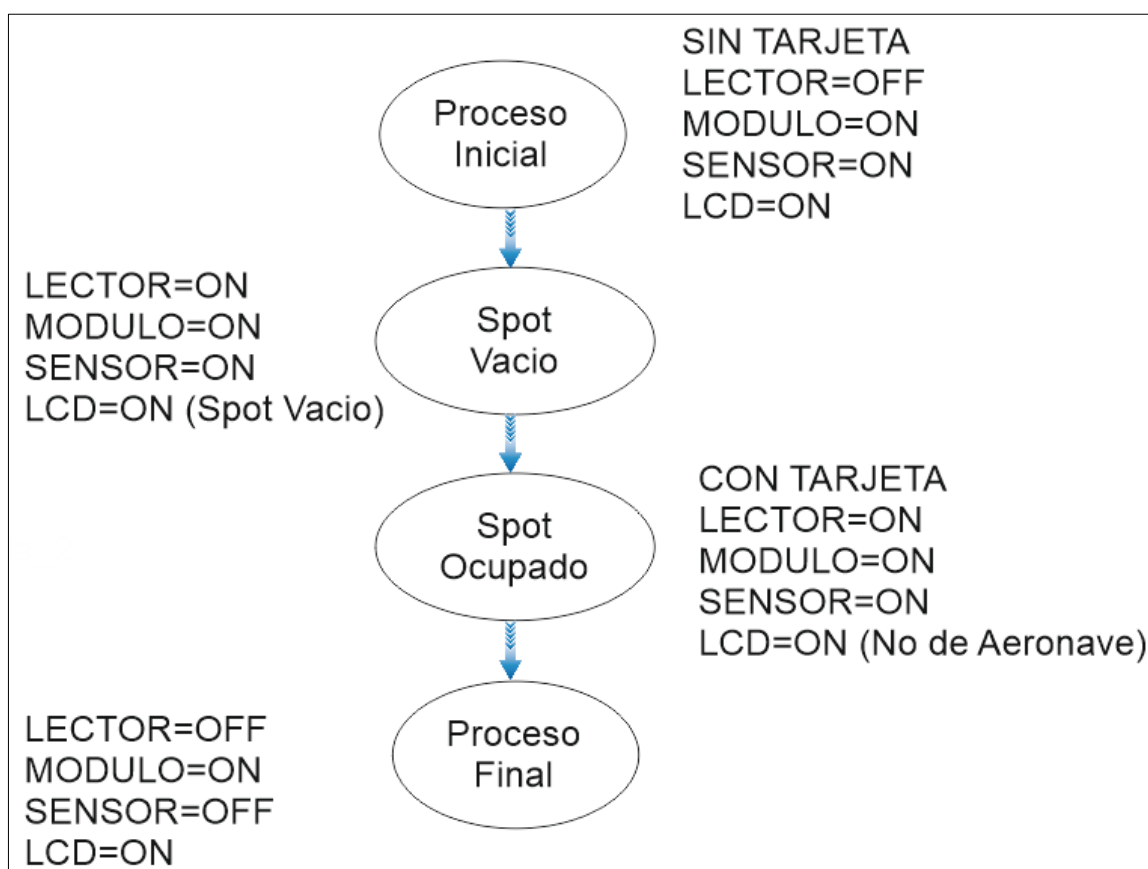
Fuente. Elaboración propia

La figura 34 representa la condición de disponibilidad de spot en la rampa del CACOM-4 en un dispositivo como el celular, donde el usuario puede identificar los spots utilizados con datos tales como el número de spot, tipo de aeronave y matrícula. En el caso de no estar ocupado el sistema presenta lectura de vacío en color verde. Este aplicativo le permite a las tripulaciones y personal de apoyo en tierra, saber con exactitud y en tiempo real, la ubicación de las aeronaves en rampa con número de matrícula y a los controladores aéreos la condición de disponibilidad de spots para las aeronaves que requieren establecerse en rampa.

4.5 ALGORITMOS

Tal como se observa en la figura 35, la programación se realiza mediante el software de Arduino que básicamente es la programación de un microcontrolador. El software de Arduino proporciona al usuario un entorno de programación bastante cómodo, sencillo y seguro para poder programar, incluyendo lo necesario para compilar el programa y grabarlo de una vez en la memoria del microcontrolador que tiene.

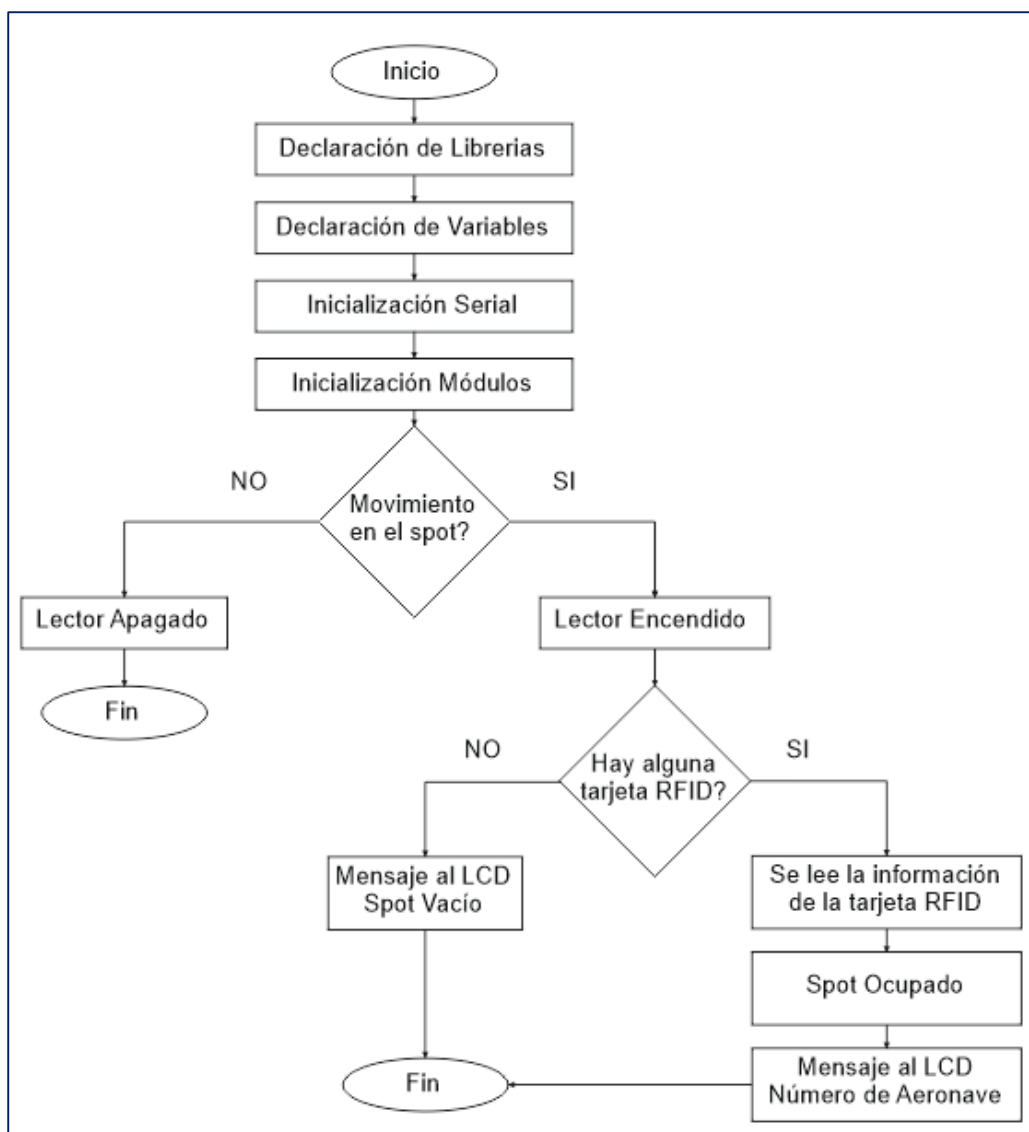
Figura 35
Algoritmo de programación



Fuente. Elaboración propia

De acuerdo al algoritmo de programación, se planteó un diagrama de flujo en formato vertical. Como se puede observar en la figura 36, con secuencia de operaciones ordenada y poder simular la implementación del sistema de identificación electrónica de puntos de parqueo para aeronaves.

Figura 36
Diagrama de flujo



Fuente. Elaboración propia

4.6 PLANOS

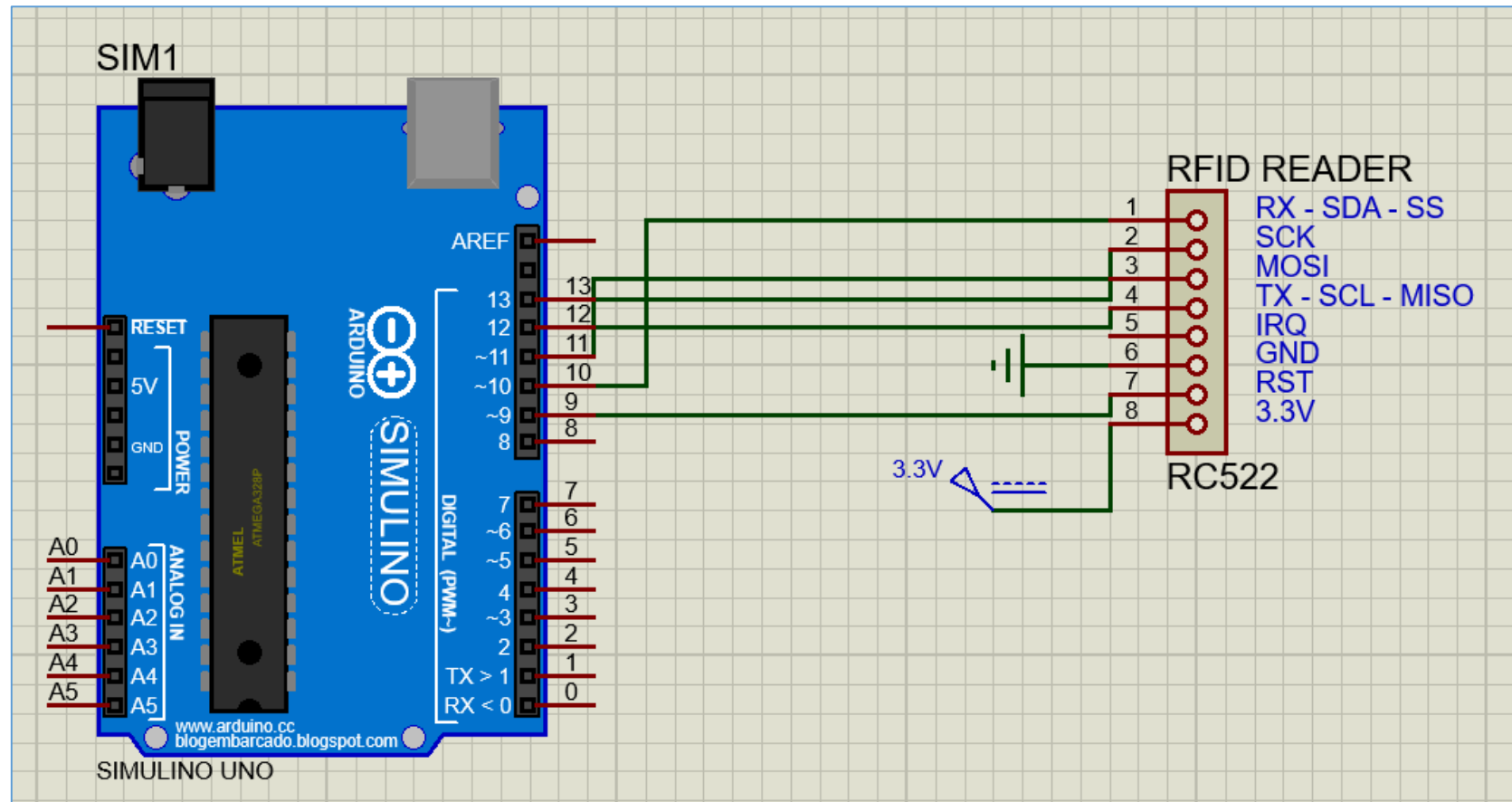
Los planos esquemáticos referenciados desde la figura 37 a la figura XX se usaron para identificar las conexiones requeridas entre los componentes y la placa arduino para su posterior implementación en el prototipo diseñado.

El plano esquemático que se presenta en la figura 37, representa como se conecta el lector de RFID RC522 a la placa de arduino uno, utilizando el bus de interfaz periférico serial (SPI) para poder comunicarse con el controlador, las conexiones son las siguientes:

PIN	FUNCIÓN
SDA/SS/RX	Actúa como entrada de señal de la interfaz SPI y se encuentra conectado al pin 10 del arduino UNO.
SCK.	Es la señal de reloj de la interfaz SPI y se encuentra conectado al pin 13 del arduino UNO.
MOSI	Entrada en la interfaz SPI y se encuentra conectado al pin 11 del arduino UNO.
MISO/SCL/TX	Funciona como salida de esclavo y entrada de máster en la interfaz SPI y se encuentra conectado al pin 12 del arduino UNO.
IRQ	No se encuentra conectado ya que no se usa para esta aplicación
GND	Se encuentra conectado al pin de tierra o GND del arduino UNO
RST	Es para encender y apagar el módulo en estado LOW se mantendrá el lector RFID apagado y cuando cambia a estado HIGH el lector RFID se reinicia se encuentra conectado al pin 9 del arduino UNO.
3.3 V	Es el pin de alimentación de VCC del lector RFID RC522 admite un voltaje de alimentación entre 2,5V y 3,3V y se encuentra conectado al pin de 3.3 V del arduino UNO.

Figura 37

Plano esquemático Arduino UNO – Tarjeta Lectora RFID RC522



Fuente. Elaboración propia

El plano esquemático que se diagrama en la figura 38, representan como se conecta el LCD1602 a la placa de Arduino UNO, utilizando el protocolo I2C para comunicarse con el controlador y las conexiones son las siguientes:

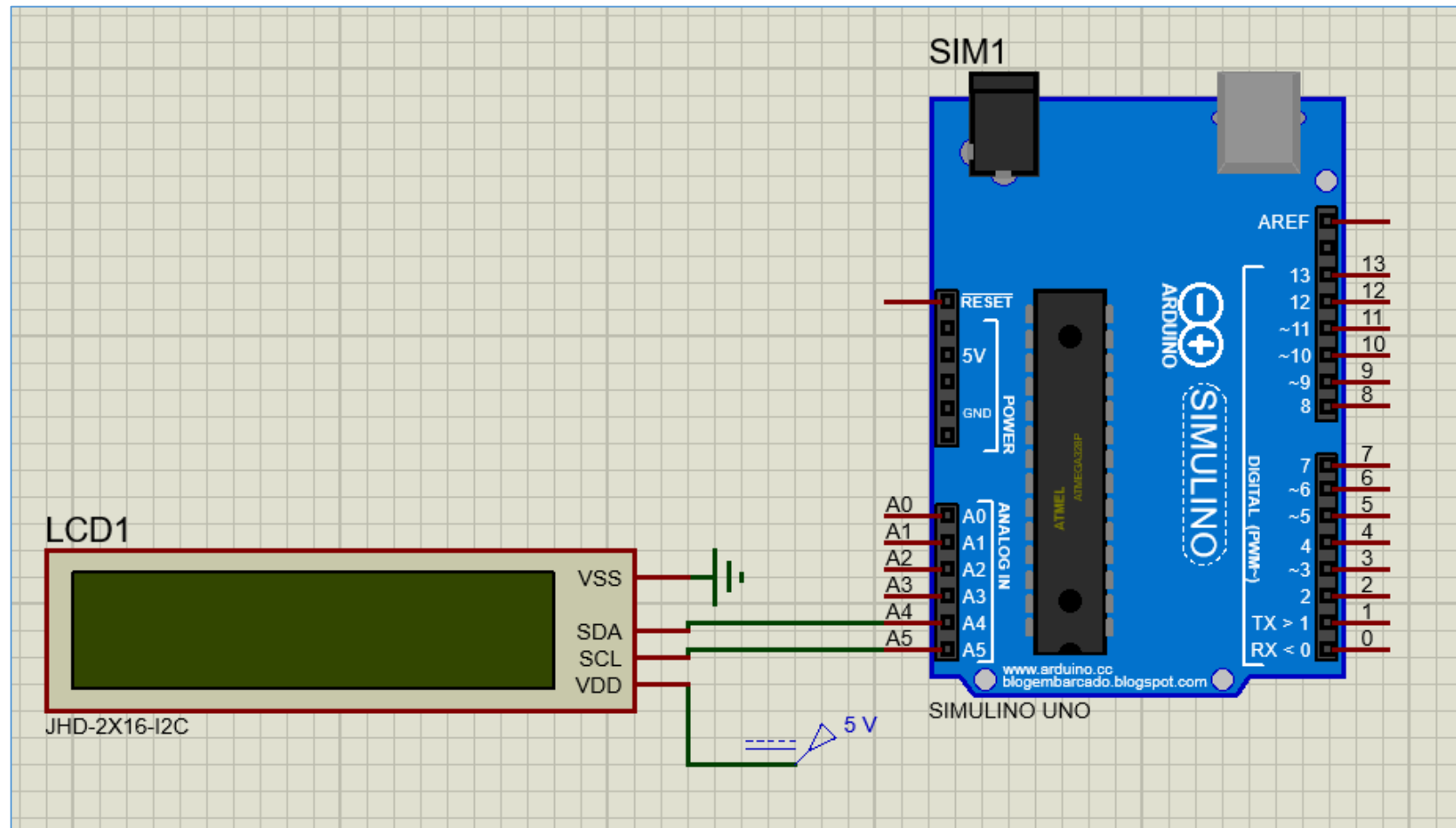
PIN	FUNCIÓN
SDA	Línea de datos del protocolo I2C y se encuentra conectado al pin analógico A4 del arduino UNO.
SCL	Es la línea de reloj del protocolo I2C y se encuentra conectado al pin analógico A5 del arduino UNO.
GND	Pin conectado a tierra o GND del arduino UNO.
VCC	Pin de alimentación de voltaje y se encuentra conectado al pin de 5 V del arduino UNO.

El plano esquemático que se evidencia en la figura 39, representa como se conecta el sensor PIR a la placa de Arduino UNO, para que el controlador pueda recibir la señal del sensor. Las conexiones son las siguientes:

PIN	FUNCIÓN
OUT/SIG	Salida de voltaje que envía un pulso cada vez que se detecta un movimiento y se encuentra conectado al pin 2 del arduino UNO..
GND	Pin conectado a tierra o GND del arduino UNO.
VCC	Pin de alimentación de voltaje y se encuentra conectado al pin de 5 V del arduino UNO.

Figura 38

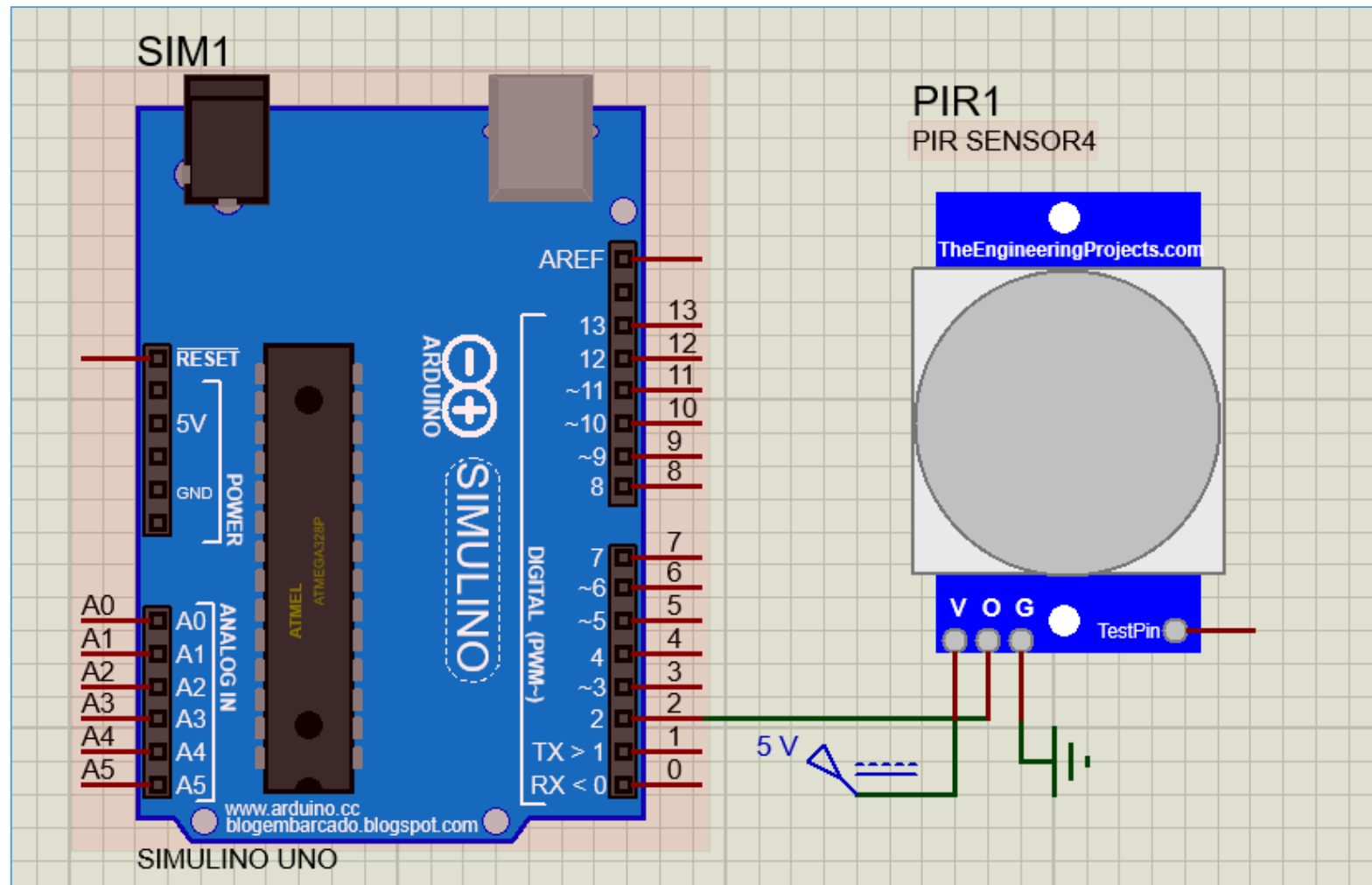
Plano esquemático Arduino UNO – LCD 16x2



Fuente. Elaboración propia

Figura 39

Plano esquemático Arduino UNO – Sensor PIR HC-SR501



Fuente. Elaboración propia

4.7 PRUEBAS FUNCIONALES

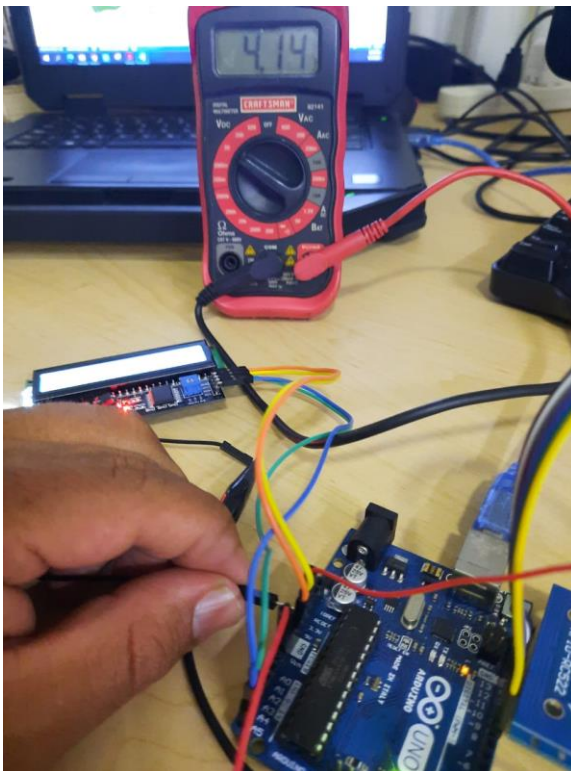
Se efectúan las pruebas de funcionalidad de los elementos utilizados para corroborar que cumplan con los requerimientos previamente mencionados, garantizando la operatividad de los elementos escogidos para ensamblar el prototipo.

La primera prueba funcional que se realiza es la etapa de alimentación del módulo Arduino, en ésta se emplea alimentación mediante el puerto USB como se muestra en la figura 40. Así mismo, se usa como fuente de alimentación una batería de 9 voltios como muestra la figura 41.

En estas dos figuras se observa la medición real en el pin Vin del Arduino, usando el multímetro cuando se usa el puerto USB y la batería de 9 voltios cumpliendo con los parámetros de voltaje requeridos para el funcionamiento del módulo de arduino UNO.

Figura 40

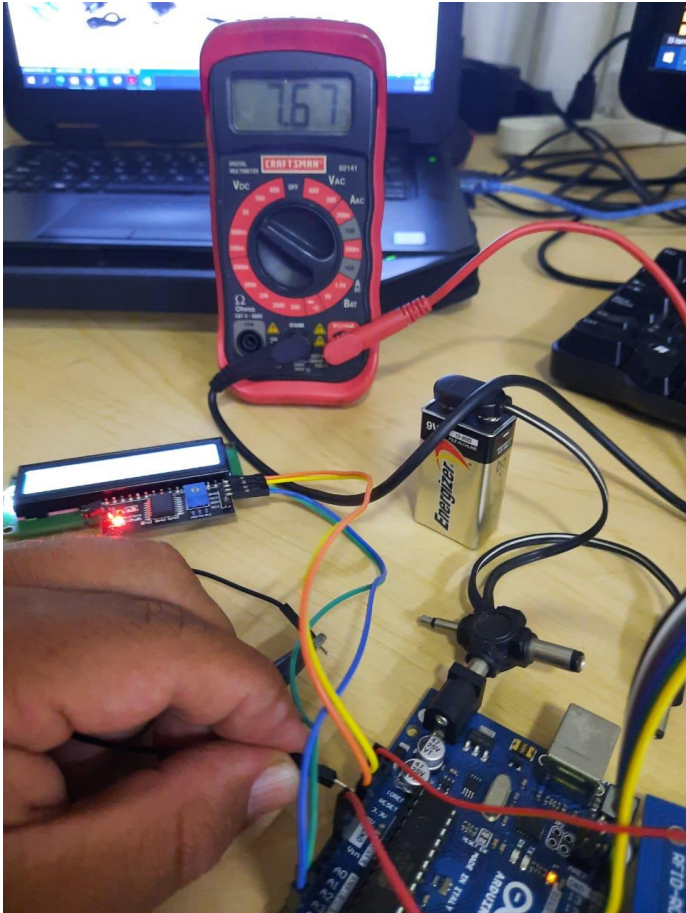
Voltaje de alimentación módulo arduino mediante cable USB



Fuente. Foto tomada por el autor

Figura 41

Voltaje de alimentación módulo arduino mediante batería de 9 voltios

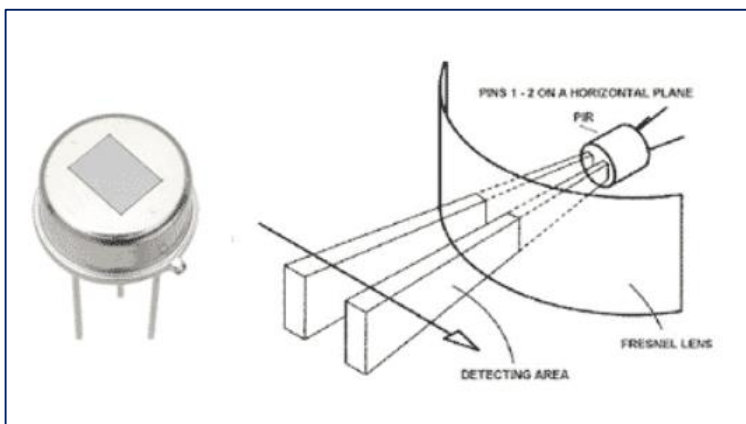


Fuente. Foto tomada por el autor

La segunda prueba se realizó con el sensor de movimiento, identificando que el sensor piroeléctrico capte la radiación emitida por los cuerpos en movimiento en el área identificada en la figura 42. El potenciómetro de sensibilidad es ajustado para el prototipo en rango mínimo, el cual es aproximadamente de 3 metros. El potenciómetro de demora o retraso se ajusta también en rango mínimo de 3 a 5 segundos. Un LED es conectado y configurado en el sistema para encenderse. Una vez el movimiento es detectado y cumpliendo con lo requerido al sensar cualquier movimiento en el rango de 3 metros, el dispositivo envió la señal digital al arduino UNO, encendiendo el LED verde como se observa en la figura 43.

Figura 42

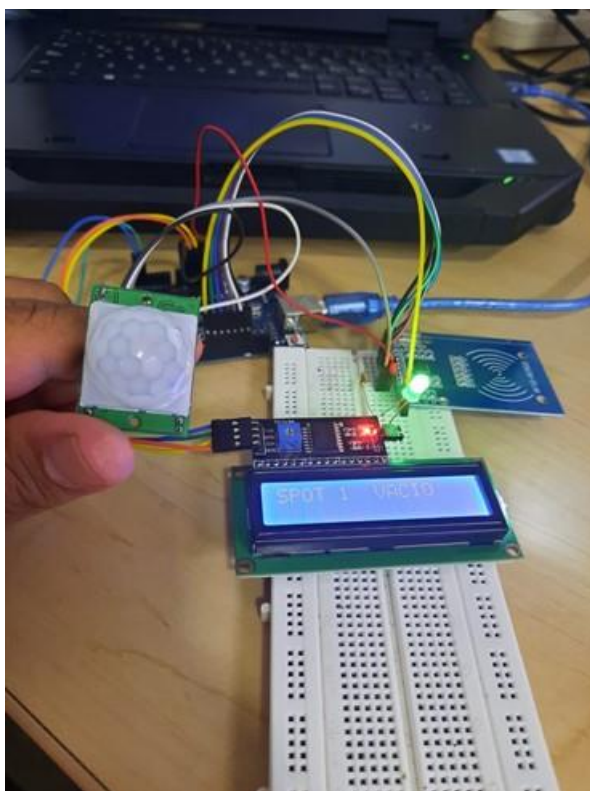
Zona de detección del sensor de movimiento con el lente de fresnel



Fuente. Tomado de Sensor PIR (<https://www.luisllamas.es/detector-de-movimiento-con-arduino-y-sensor-pir/>)

Figura 43

Encendido del LED con el movimiento detectado por el sensor PIR

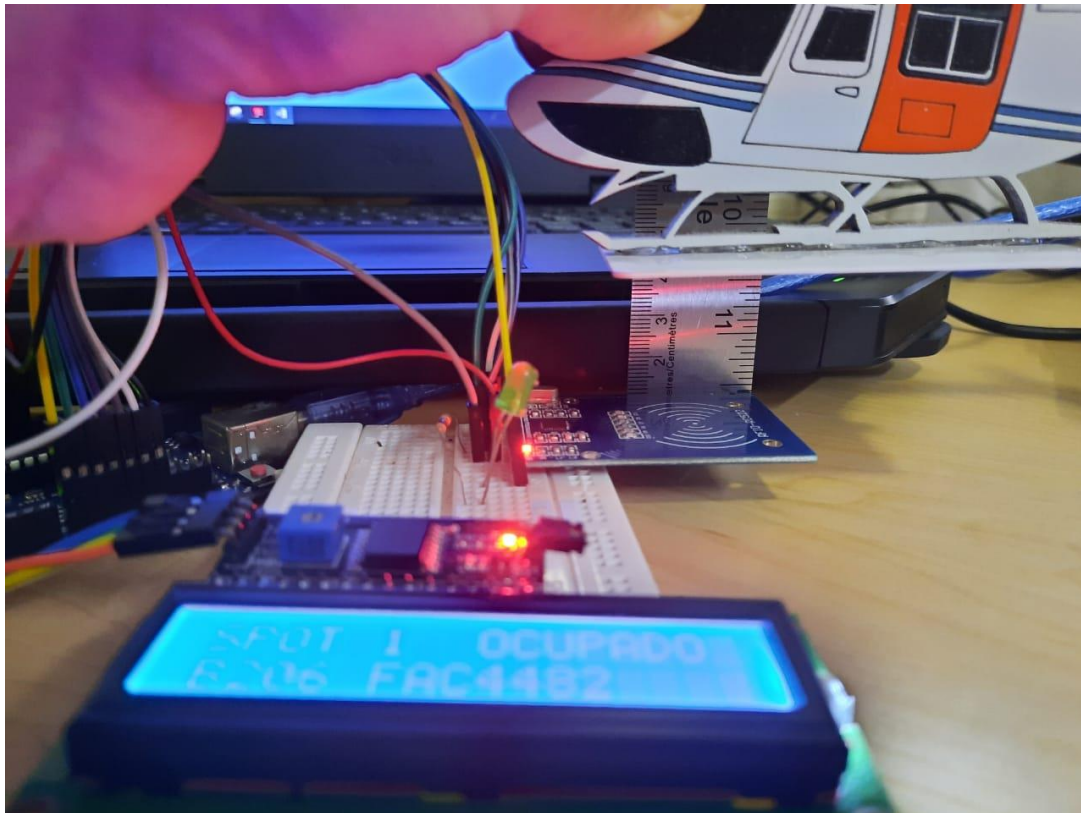


Fuente. Foto tomada por el autor

Para el lector RFID, se efectuó la prueba para verificar que la antena encargada de realizar la transmisión, envíe la señal requerida cuando el tag pasivo se encuentre a una distancia promedio del lector como se muestra en la figura 44. Entonces, con una regla situada entre el lector RFID y una de las tarjetas pasivas, se efectúa la lectura a una distancia de 3 cm. De acuerdo a lo visto en el capítulo 2 y la figura 21, la potencia recibida a esta distancia, pudo alimentar al chip del tag pasivo y por ese motivo, el tag efectuó la retroalimentación (backscatter) de la señal recibida al lector, cumpliendo con la lectura del UID de la tarjeta pasiva en el rango de distancia requerido para la implementación del prototipo.

Figura 44

Distancia promedio de lectura entre el lector y el tag pasivo.

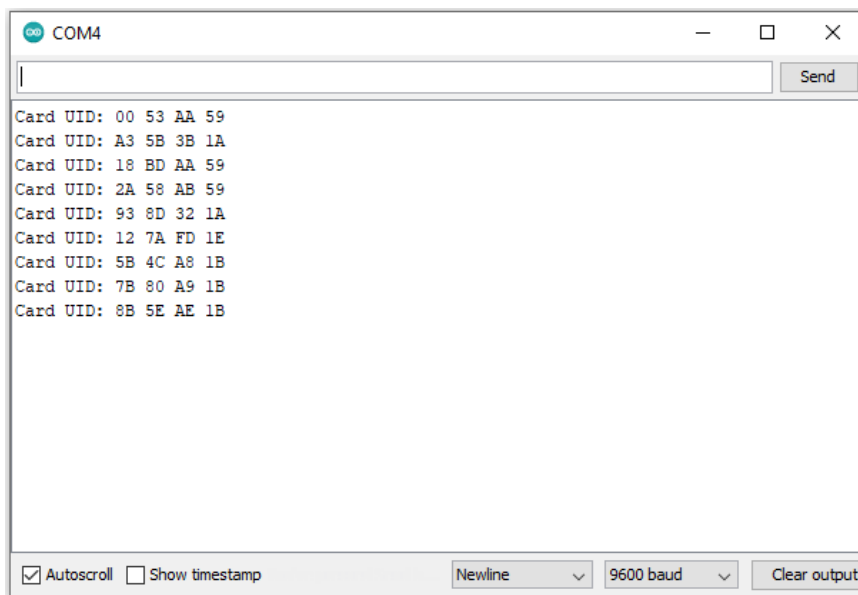


Fuente. Foto tomada por el autor

Una vez se prueba que el lector funciona correctamente, se inicia con la lectura de las tarjetas pasivas. En el anexo 2 se presenta el programa que permite leer el código arduino UID de las tarjetas RFID representadas en la figura 45

Figura 45

Lectura UID de las tarjetas disponibles para asignación



Fuente. Elaboración propia

Terminado el proceso de conocer los códigos UID, es asignado a cada una de las tarjetas el tipo y número de las aeronaves como se muestra en la tabla 7.

Tabla 7

Asignación UID a las Aeronaves

AERONAVE	No. FAC	UID
B-212	FAC4004	7B 80 A9 1B
B-212	FAC4010	A3 5B 3B 1A
HUEY II	FAC4527	18 BD AA 59
UH-1H	FAC4207	2A 58 AB 59
TH-67	FAC4572	93 8D 32 1A
TH-67	FAC4567	12 7A FD 1E
B-206	FAC4470	5B 4C A8 1B
B-206	FAC4482	00 53 AA 59
OH-13	FAC4214	8B 5E AE 1B

Fuente. Elaboración propia

Seguidamente y con el uso de la tabla de asignación de los códigos UID, se usa el código de arduino que se encuentra en el anexo 3 para grabar en la memoria de la tarjeta pasiva el tipo y los datos que identifican la aeronave como se evidencia en la figura 46, en donde acorde a la tabla 7, la tarjeta con código UID 12 7A FD 1E se le debe asignar el tipo TH-67 con matrícula FAC4567.

Figura 46

Asignación tipo y número de aeronave a la tarjeta

```

1. Asignar tipo y número de aeronave
2. Revisar número de aeronave asignado
Card UID: 12 7A FD 1E PICC type: MIFARE 1KB
Ingrese el tipo y numero de la aeronave y finalice con la tecla #
Autenticación_PCD() OK:
Escritura_MIFARE() OK:

1. Asignar tipo y número de aeronave
2. Revisar número de aeronave asignado
1. Asignar tipo y número de aeronave
2. Revisar número de aeronave asignado
Tarjeta Detectada:
Card UID: 12 7A FD 1E
Card SAK: 08
PICC type: MIFARE 1KB

TH-67 FAC4567
Lectura finalizada

1. Asignar tipo y número de aeronave
2. Revisar número de aeronave asignado
1. Asignar tipo y número de aeronave
2. Revisar número de aeronave asignado
  
```

Fuente. Elaboración propia

4.8 EXPLICACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL PROTOTIPO

El código de arduino que se encuentra en el Anexo 4 y 5 se usan para la configuración de los dos controladores arduino instalados para el control del spot 1 y 2 del prototipo a escala con sistema de identificación electrónica para asignación de puntos de parqueo de aeronaves, el cual es representado en la figura 47 con los spots vacíos. En la figura 48 con los sensores de movimiento activados y en la figura 49 leyendo los tags de las aeronaves parqueadas sobre los spots, se realizó un video donde se evidencia como es el funcionamiento del prototipo, el enlace a este video se encuentra en el Anexo 6

Figura 47

Prototipo a escala con spots vacíos



Fuente. Foto tomada por el autor

Figura 48

Prototipo a escala con los sensores de movimiento activados



Fuente. Foto tomada por el autor

Figura 49

Prototipo a escala leyendo los tags de las aeronaves sobre los spots



Fuente. Foto tomada por el autor

5. CONCLUSIONES

- ✓ Realizando la caracterización de la tecnología de identificación por radiofrecuencia RFID, correspondiente al desarrollo del objetivo número 2, se pudo observar que es una tecnología emergente que tiene muchas aplicaciones por explorar, que ha sido usada en el sector aeronáutico y sistemas de seguridad con gran éxito. Asimismo, al comparar esta tecnología con otras similares, se evidenció que RFID utiliza un concepto simple y de bajo costo, emplea una distancia adecuada para el prototipo y no necesita línea de vista lo que la destacó para la selección para el proyecto.
- ✓ Dentro del análisis realizado en el proyecto expuesto, es posible establecer que el módulo de Arduino UNO es una placa de programación económicamente accesible con respecto a otras placas, es más fácil de usar y programar frente a otros microcontroladores, la cual usa su propio software que funciona de manera articulada con el sistema operativo Windows con una licencia, dicho software es de uso libre y es importante porque no genera sobrecostos al prototipo.
- ✓ Inicialmente se realizaron los planos del diseño con un software que no tenía licencia, y se observó que, para obtener mejores resultados, se optó por realizar los diagramas esquemáticos usando el software Proteus, el cual permite el diseño y la simulación del prototipo a escala usando un entorno virtual profesional, el cual asemeja el comportamiento de la operación real y garantiza su funcionamiento antes de implementarlo físicamente.
- ✓ Con el desarrollo del prototipo, se evidenció también, que las tarjetas RFID de tipo pasivo son económicas, duraderas, ligeras y su vida útil es bastante alta al no tener baterías para su funcionamiento, lo que hace que esta tecnología sea viable en una futura implementación.
- ✓ Se logró evidenciar que mediante el diseño un prototipo a escala, con sistema de identificación electrónica para la asignación de los puntos de parqueo en tiempo real de aeronaves, se puede mejorar el proceso de control en los procesos de parqueo, de tal forma que las dependencias encargadas de mantener el control de tráfico en la zona operativa, tripulaciones, personal de mantenimiento y apoyo logístico, pueden conocer en tiempo real, la ubicación de las aeronaves establecidas en esta área y la disponibilidad de spots de parqueo en rampa, para reducir retrasos en las salidas, establecimiento de las mismas durante las operaciones aéreas y prevenir los errores de asignación por la congestión que se presenta por el alto número de vuelos programados en cada día.

6. RESULTADOS

- ✓ Se determinó el tipo de tecnología requerida y las especificaciones técnicas de los módulos que se usarán para implementar la solución al problema planteado.
- ✓ Se establecieron los algoritmos requeridos para dar solución al desarrollo del prototipo a escala con sistema de identificación electrónica para la asignación de los puntos de parqueo en tiempo real de aeronaves.
- ✓ Se realizaron las pruebas requeridas a los módulos escogidos y confirmar que la tecnología escogida cumple con lo requerido en el diseño y desarrollo del prototipo a escala con sistema de identificación electrónica para la asignación de los puntos de parqueo en tiempo real de aeronaves.
- ✓ Se realizó el diseño y la implementación de la solución, mediante el prototipo a escala con sistema de identificación electrónica para la asignación de los puntos de parqueo en tiempo real de aeronaves en la zona operativa aéreo del Comando Aéreo de Combate No.4 en Melgar – Tolima.

Tabla 8*Obtención de los resultados vs los objetivos propuestos*

OBJETIVOS	RESULTADOS
Documentar casos con resultados exitosos sobre el uso de sistemas de identificación electrónica que aporten al proyecto de mejoramiento en los tiempos de ubicación y asignación puntos de parqueo para las aeronaves del Comando Aéreo de Combate No. 4 en Melgar – Tolima.	Se logró reconocer la importancia que tiene la realización de la investigación en los diferentes escenarios apropiando los conceptos básicos requeridos en contexto al desarrollo de proyectos de manera secuencial con la documentación de casos con resultados exitosos sobre el uso de sistemas de identificación electrónica lo cual se evidencia en el desarrollo del capítulo 1
Determinar y caracterizar el tipo de tecnología requerida en el desarrollo del prototipo a escala con sistema de identificación electrónica de los puntos de parqueo para las aeronaves del CACOM-4.	Se determinó el tipo de tecnología requerida, las especificaciones técnicas de los módulos que se usaran para implementar la solución al problema planteado en el desarrollo del capítulo 2 y del capítulo 3
Desarrollar el prototipo a escala con sistema de identificación electrónica para los puntos de parqueo de aeronaves del CACOM-4.	Se realizó el diseño y la implementación de la solución mediante el prototipo a escala con sistema de identificación electrónica para la asignación de los puntos de parqueo en tiempo real de aeronaves en la zona operativa aéreo del Comando Aéreo de Combate No.4 en Melgar – Tolima lo cual se evidencia en el desarrollo del capítulo 3 y el capítulo 4
Realizar pruebas del prototipo a escala con identificación electrónica para los puntos de parqueo de aeronaves del CACOM-4.	Se realizaron las pruebas requeridas a los módulos escogidos para poder ratificar que la tecnología escogida cumpliera con lo requerido en el diseño y desarrollo del prototipo a escala con sistema de identificación electrónica para la asignación de los puntos de parqueo en tiempo real de aeronaves durante el desarrollo del capítulo 4

Fuente. Elaboración propia

7. TRABAJO FUTURO

Puesto que el diseño del prototipo es solo el punto de partida para iniciar la implementación real, y da las pautas para poder continuar con aplicaciones que están enunciadas en este documento, a continuación, se enumeran las acciones de mejora propuestas a corto y mediano plazo y que pueden realizarse para el mejoramiento y el cumplimiento de los objetivos propuestos así:

7.1 PLAN DE MEJORA A CORTO PLAZO

Presentar esta propuesta al comandante de la Unidad, así como a los comandantes de los grupos, con el fin de obtener la aprobación presupuestal y poder diseñar e implementar un prototipo real en uno de los puntos de parqueo para aeronaves del CACOM-4, con sistema identificación electrónica para verificar la operatividad y funcionamiento.

Los equipos propuestos para usar en la implementación a futuro del prototipo real, son el lector- transmisor VANCH RFID VF-S108 como el que se muestra en la figura No 50 y las especificaciones que lo hacen la mejor opción de implementación del prototipo real, no es solamente la capacidad de lectura hasta 25 metros de acuerdo al tamaño de la tarjeta RFID, sino el diseño de la interfaz de comunicación, el cual simplifica la tecnología que se va a usar, al tener sistema Android, bluetooth integrado, WIFI y 4G, siendo óptimo para la implementación de la aplicación del software y que el contenido llegue a los usuarios finales con un solo equipo en el spot de parqueo.

Figura 50

Dispositivo propuesto para la implementación real



Fuente. Tomado de

(http://www.vanch.net/include/upload/kind/file/20190418/20190418174218_0064.pdf)

7.2 PLAN DE MEJORA A MEDIANO PLAZO

Obtener el apoyo presupuestal y la aprobación por parte del comandante de la Jefatura para diseñar e implementar totalmente, el sistema en la rampa y lograr la identificación de los puntos de parqueo para aeronaves, concluyendo con la instalación del sistema de identificación electrónica en la totalidad de spots, así como la instalación de las tarjetas pasivas a cada aeronave del CACOM 4, facilitando el proceso de reconocimiento y asignación de las aeronaves en tiempo real, con la respectiva aplicación para la consulta de los usuarios finales como se muestra en la figura No 51.

Figura 51

Rampa Norte con su respectiva aplicación



Fuente. Elaboración propia

REFERENCIAS

- ADVISORS. "Automatización de Procesos: Ventajas y desventajas". [En línea]. 2017 [5 febrero de 2021] disponible en: <https://www.gb-advisors.com/es/automatizacion-de-procesos/>
- AERONÁUTICA CIVIL. "Circular de Seguridad Operacional. Prevencion de incursion de aeronaves en pistas, calles de rodaje y plataformas cerradas temporal o permanentemente". [En línea]. 2009 [5 febrero de 2021] disponible en: <https://www.aerocivil.gov.co/normatividad/NormatividadAeronautica/Circulares%20Seguridad%20Area/06-Prevenci%C3%B3n%20Intrusi%C3%B3n%20Pistas%20Cerradas.pdf?ID=12#:~:text=Plataforma%3A%20%C3%A1rea%20definida%2C%20en%20un,de%20combustible%2C%20estacionamien>
- AMN ISO. "Que es un evento. Disponible en Gestión del riesgo Vocabulario". [En línea]. 2019 [6 febrero de 2021] disponible en: https://www.academia.edu/39673881/ISO_Gu%C3%ADa_73_2009_VOCABULARIO_GESTI%C3%93N_RIESGO_VIGENTE
- BIZDATA. "Real Time Location Systems (RTLS). ¿Cuál es la mejor tecnología para el seguimiento de activos?" [En línea]. s.f. [6 febrero de 2021] disponible en: <https://www.bizdata.io/base-de-conocimiento/vision-general/rtls/>
- CAD. "Historia del microchip". [En línea]. s.f. [5 febrero de 2021] disponible en: http://www.cad.com.mx/historia_del_microchip.htm
- CONCEPTODEFINICIÓN. "Tráfico Aéreo". [En línea]. 2021. [5 febrero de 2021] disponible en: <https://conceptodefinicion.de/trafico-aereo/>
- CORREA ESPINAL, Alexander., ALVAREZ LÓPEZ, Carlos, & GÓMEZ MONTOYA, Rodrigo. "Sistemas de Identificación por Radiofrecuencia, Código de Barras y su Relación con la Gestión de la Cadena de Suministro". [En línea]. 2010, vol.26, n.116 [7 febrero de 2021], pp.115-141. disponible en : http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-59232010000300007&lng=en&nrm=iso>. ISSN 0123-5923.

CUBILLOS GONZÁLEZ, Hanner. "Proponer un Modelo de Toma de Decisiones Basado en Eventos de Seguridad y Lecciones". Melgar: Fuerza Aérea Colombiana, 2020 Pag.12

DEJ PANHISPÁNICO. "Diccionario Panhispánico del Español jurídico". [En línea]. 2020. [5 febrero de 2021] disponible en: Real Academia Española: <https://dpej.rae.es/lema/identificaci%C3%B3n-electr%C3%B3nica>

EIRD. "Gestión del riesgo". [En línea]. s.f. [6 febrero de 2021] disponible en: https://www.eird.org/cd/toolkit08/material/proteccion-infraestructura/gestion_de_riesgo_de_amenaza/8_gestion_de_riesgo.pdf

ENDARA GARZÓN, Tomás. "Entendiendo el concepto de la seguridad operacional". [En línea]. 2012 [7 febrero de 2021] disponible en: <http://www.hispaviacion.es/entendiendo-el-concepto-de-seguridad-operacional/>

FNMT. "Identificación Electrónica. Fabrica Nacional de Moneda y Timbre": [En línea]. s.f. [8 febrero de 2021] disponible en: <https://www.fnmt.es/productos-y-servicios/tarjetas-electronicas/tarjeta-firma-electronica/identificacion-electronica>

FUERZA AÉREA COLOMBIANA. "CACOM-4. Pagina oficial Fuerza Aérea Colombiana" [En línea]. 2021 [5 febrero de 2021] disponible en: <https://www.fac.mil.co/cacom4>

-----". "Helicóptero militar OH-58 Kiowa realizó vuelo de despedida en el Comando Aéreo de Combate No. 4". [En línea]. s.f [5 enero de 2021] disponible en: <https://www.fac.mil.co/helic%C3%B3ptero-militar-oh-58-kiowa-realiz%C3%B3-vuelo-de-despedida-en-el-comando-a%C3%A9reo-de-combate-no-4>

-----". "Ranger B-206 BIII, nuevo entrenador para la Escuela de Helicópteros de la Fuerza Pública". [En línea]. s.f [5 enero de 2021] disponible en: <https://www.fac.mil.co/ranger-b-206-biii-nuevo-entrenador-para-la-escuela-de-helic%C3%B3pteros-de-la-fuerza-p%C3%BAblica#:~:text=Con%20la%20llegada%2C%20en%20agosto,de%20los%20instructores%20y%20las>

FUMIGARAY. "Riesgos de la seguridad operacional". [En línea]. s.f [6 febrero de 2021] disponible en: https://fumigaray.weebly.com/uploads/1/9/4/3/19430029/2014-1._enero_y_febrero.pdf

- GARCIA, Vicente. "Sensor HC-SR501 con Arduino". [En línea]. 2017 [10 enero de 2021] disponible en: <https://www.diarioelectronicohoy.com/blog/sensor-hc-sr501-con-arduino>
- GUERRA GÓMEZ, Rolando, VIQUEIRA BERNAL, Sheila, & MARANTE RIZO, Francisco. "Procesamiento adaptativo espacio-temporal para sistemas de antenas inteligentes de identificación por radiofrecuencia". [En línea]. 2018 [10 febrero de 2021] disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59282018000300089
- HEFLO. "¿Qué es la automatización de procesos? Conozca 14 ventajas". [En línea]. 2017 [12 febrero de 2021] disponible en: <https://www.heflo.com/es/blog/automatizacion-procesos/que-es-la-automatizacion-de-procesos/>
- HERRERA, Alfonso. "Innovaciones en la tecnología aeroportuaria. Secretaría de comunicaciones y Transporte de Mexico". [En línea]. 2008 [09 febrero de 2021] disponible en: <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt317.pdf>
- HETPRO. "Herramientas Tecnológicas Profesionales" [En línea]. 2021 [09 febrero de 2021] disponible en: <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/modulo-lector-rfid-rc522-rf-con-arduino/>
- KIMALDI. "Qué es un sistema RFID Tecnología de Identificación por Radiofrecuencia". [En línea]. s.f. [11 febrero de 2021] disponible en: https://www.kimaldi.com/rfid_tecnologia_de_identificacion_por_radiofrecuencia/
- KUMAR, Neeraj. "Near-field Communication (NFC). Una alternativa a RFID en bibliotecas" [En línea]. 2020 [13 febrero de 2021] disponible en: <https://blog.bne.es/biblioteconomia/2020/09/11/near-field-communication-nfc-una-alternativa-rfid-en-bibliotecas/>
- LEÓN DUARTE, Jaime, RE-IÑIGUEZ, Blanca, & ROMERO DESSENS, Luis. "Ventajas del uso de sistemas de trazabilidad electrónica en procesos de manufactura". [En línea]. 2020 [11 febrero de 2021] disponible en: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642020000100237#:~:text=Dependiendo%20del%20sector%20en%20donde,a%20su%20paso%20por%20la

LÓPEZ, Sergio. "Diseño de antenas para etiquetas RFID en escenarios de alta exigencia". [En línea]. 2017 [13 febrero de 2021] disponible en: <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/462033/sls1de1.pdf?sequence=1>

MECALUX. "El código de barras y otros sistemas de identificación automática". [En línea]. 2021 [12 febrero de 2021] disponible en: <https://www.mecalux.com.co/manual-almacenaje/almacen/sistemas-identificacion-automatica>

MILLER, Josh. "RFID y las diferencias entre etiquetas Pasivas, Semi-Pasivas y Activas". [En línea]. 2019 [9 febrero de 2021] disponible en: <https://www.computype.com/es/blog/rfid-y-las-diferencias-entre-etiquetas-pasivas-semi-pasivas-y-activas>

NASSAR, Victor., & HORN VIEIRA, Milton. "O compartilhamento de informações no transporte público com as tecnologias RFID e NFC: uma proposta de aplicação. [En línea]. 2017 [9 febrero de 2021] disponible en: https://www.researchgate.net/publication/314649256_O_compartilhamento_de_informacoes_no_transporte_publico_com_as_tecnologias_RFID_e_NFC_uma_proposta_de_aplicacao

OACI. "Anexo 14. Disponible en Diseño y operaciones de aerodromos". [En línea]. 2009 [8 febrero de 2021] disponible en: <http://www.interairports.hn/wp-content/uploads/2015/08/Anexo-14-2009-Aerodromos.pdf>

-----, "Gestión de la seguridad operacional. Disponible en Anexo 19" : [En línea]. 2013 [8 febrero de 2021] disponible en: https://www.anac.gov.ar/anac/web/uploads/ssp-sms/an19_cons_es.pdf

PINEDA GARDUÑO, Jhonatan & SOLANO MEDINA, Ricardo. "Sistema de Localización en Tiempo Real basado en Identificación por Radio Frecuencia Activa". [En línea]. 2008 [12 febrero de 2021] disponible en: <https://repositorio.tec.mx/bitstream/handle/11285/629547/33068001073900.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

TALTIX. "¿QUÉ ES EL SISTEMA RFID PASIVO?". [En línea]. 2020 [13 febrero de 2021] disponible en: <https://www.taltix.com/en-que-se-diferencian-los-sistemas-rfid-pasivos-y-activos/>

TELETRÓNICA. "¿Que es RTLS (Real Time Location System)? [En línea]. s.f. [13 febrero de 2021] disponible en: <https://telectronica.com/que-es-rtls-real-time->

location-
system/#:~:text=RTLS%20es%20el%20uso%20de,un%20enfoco%20com%C3%BA%20la%20triangulaci%C3%B3n.

UNIVERSITAM. "Desarrollan un controlador automatico de trafico aereo para el aterrizaje de aeronaves. [En línea]. 2010 [9 febrero de 2021] disponible en: <https://universitam.com/academicos/noticias/desarrollan-un-controlador-automatico-de-traffic-aereo-para-el-aterrizaje-de-aeronaves/>

ZORRILLA, Martín "Los Sistemas RFID aplicados a la aviación". Ciencia y Poder Aéreo, [En línea]. 2016, vol.11, n.1 [12 febrero de 2021], pp 170-175 <https://publicacionesfac.com/index.php/cienciaypoderaereo/article/view/150>

ANEXOS

Anexo 1

Formulario de la encuesta

1	¿Conoce usted cuantas aeronaves tiene el CACOM-4?
2	¿Sabe usted cuántos spots tiene CACOM-4?
3	¿Sabe qué tipo de identificación tienen los spots del CACOM-4?
4	¿De qué manera conoce usted cuando un spot esta libre para parqueo?
5	¿Conoce el protocolo para el parqueo de aeronaves en el CACOM-4?
6	Según su criterio y experiencia, ¿cuáles cree usted que son los riesgos de tipo operacional que se presentan en la zona operativa por no conocer los spots donde se encuentran parqueadas las aeronaves?
7	¿Ha sufrido algún evento de seguridad por causa del tráfico de aeronaves, equipos de apoyo y personal dentro de la zona operativa por no conocer los spots donde se encuentran parqueadas las aeronaves?
8	¿Cuáles son las dificultades que experimenta a la hora de ubicar una aeronave en la zona operativa?
9	¿Se ha cancelado o demorado en la salida a una misión de vuelo por dificultades en la ubicación de la aeronave en los spots de parqueo?
10	¿Cree usted que es oportuno implementar un sistema de identificación electrónica para ubicar spots libres dentro de la zona operativa?
11	¿Qué sugerencias puede aportar para mejorar el proceso de identificación y asignación de puntos de parqueo para aeronaves en CACOM-4?

Anexo 2

Programa de lectura código UID de las tarjetas pasivas

```
#include <SPI.h>
#include <MFRC522.h>

const int RST_PIN = 9;
const int SS_PIN = 10;
MFRC522 mfrc522(SS_PIN, RST_PIN);

void printArray(byte *buffer, byte bufferSize) {
  for (byte i = 0; i < bufferSize; i++) {
    Serial.print(buffer[i] < 0x10 ? " 0" : " ");
    Serial.print(buffer[i], HEX);
  }
}

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  SPI.begin();
  mfrc522.PCD_Init();
}

void loop()
{
  if (mfrc522.PICC_IsNewCardPresent())
  {
    if (mfrc522.PICC_ReadCardSerial())
    {
      Serial.print(F("Card UID:"));
      printArray(mfrc522.uid.uidByte, mfrc522.uid.size);
      Serial.println();

      mfrc522.PICC_HaltA();
    }
  }
  delay(250);
}
```

Anexo 3

Código arduino para asignar y revisar los datos de las aeronaves almacenados en las tarjetas pasivas

```
#include <SPI.h>
#include <MFRC522.h>

constexpr uint8_t RST_PIN = 9;
constexpr uint8_t SS_PIN = 10;

MFRC522 mfrc522(SS_PIN, RST_PIN);
char a;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  SPI.begin();
  mfrc522.PCD_Init();
}

void loop()
{
  Serial.println("1. Asignar tipo y número de aeronave");
  Serial.println("2. Revisar número de aeronave asignado");
  while(!Serial.available()){ }
  a=Serial.read();
  switch(a)
  {
    case '1':
      Asignar();
      break;
    case '2':
      Revisar();
      break;
  }
}

void Asignar()
{
  MFRC522::MIFARE_Key key;
  for (byte i = 0; i < 6; i++) key.keyByte[i] = 0xFF;
  while ( ! mfrc522.PICC_IsNewCardPresent() ) {
  }
```

```

while ( ! mfrc522.PICC_ReadCardSerial()) {
}

Serial.print(F("Card UID:"));
for (byte i = 0; i < mfrc522.uid.size; i++) {
  Serial.print(mfrc522.uid.uidByte[i] < 0x10 ? " 0" : " ");
  Serial.print(mfrc522.uid.uidByte[i], HEX);
}
Serial.print(F(" PICC type: "));
MFRC522::PICC_Type piccType = mfrc522.PICC_GetType(mfrc522.uid.sak);
Serial.println(mfrc522.PICC_GetTypeName(piccType));

byte buffer[34];
byte block;
MFRC522::StatusCode status;
byte len;

Serial.setTimeout(30000L) ;
Serial.println(F("Ingrese el tipo y numero de la aeronave y finalice con la tecla #"));
len = Serial.readBytesUntil('#', (char *) buffer, 30) ;
for (byte i = len; i < 30; i++) buffer[i] = ' ';

block = 1;
status = mfrc522.PCD_Authenticate(MFRC522::PICC_CMD_MF_AUTH_KEY_A, block,
&key, &(mfrc522.uid));
if (status != MFRC522::STATUS_OK) {
  Serial.print(F("Autenticación_PCD() fallo: "));
  Serial.println(mfrc522.GetStatusCodeName(status));
  return;
}
else Serial.println(F("Autenticación_PCD() OK: "));
status = mfrc522.MIFARE_Write(block, buffer, 16);
if (status != MFRC522::STATUS_OK) {
  Serial.print(F("MIFARE_Write() failed: "));
  Serial.println(mfrc522.GetStatusCodeName(status));
  return;
}
else Serial.println(F("Escritura_MIFARE() OK: "));
Serial.println(" ");
mfrc522.PICC_HaltA(); // Halt PICC
mfrc522.PCD_StopCrypto1();
}
void Revisar()
{
  MFRC522::MIFARE_Key key;

```

```

for (byte i = 0; i < 6; i++) key.keyByte[i] = 0xFF;
byte block;
byte len;
MFRC522::StatusCode status;
while ( ! mfrc522.PICC_IsNewCardPresent() ) {
}
while ( ! mfrc522.PICC_ReadCardSerial() ) {
}
Serial.println(F("Tarjeta Detectada:"));

mfrc522.PICC_DumpDetailsToSerial(&(mfrc522.uid));
len = 18;
byte buffer2[18];
block = 1;

status = mfrc522.PCD_Authenticate(MFRC522::PICC_CMD_MF_AUTH_KEY_A, 1,
&key, &(mfrc522.uid));
if (status != MFRC522::STATUS_OK) {
    Serial.print(F("Falla detectada: "));
    Serial.println(mfrc522.GetStatusCodeName(status));
    return;
}
status = mfrc522.MIFARE_Read(block, buffer2, &len);
if (status != MFRC522::STATUS_OK) {
    Serial.print(F("Falla en lectura: "));
    Serial.println(mfrc522.GetStatusCodeName(status));
    return;
}
for (uint8_t i = 0; i < 16; i++) {
    Serial.write(buffer2[i] );
}
Serial.println(F("\n Lectura finalizada \n"));
delay(1000);
mfrc522.PICC_HaltA();
mfrc522.PCD_StopCrypto1();
}

```

Anexo 4

Código arduino para programar el sistema del spot 1

```
#include <SPI.h>
#include <MFRC522.h>
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
LiquidCrystal_I2C lcd (0x27, 16, 2);
#define RST_PIN 9
#define SS_PIN 10
MFRC522 mfrc522(SS_PIN, RST_PIN);
int sensor = 2;
int led = 8;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  SPI.begin();
  mfrc522.PCD_Init();
  Serial.println("SISTEMA DE IDENTIFICACIÓN ELECTRÓNICA PARA ASIGNACIÓN
DE PUNTOS DE PARQUEO DE AERONAVES");
  pinMode(sensor, INPUT);
  pinMode(led, OUTPUT);
  Wire.begin();
  lcd.begin(16, 2);
  lcd.clear();
  lcd.backlight();
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("SPOT 1 VACIO");
}

byte ActualUID[4];
byte Usuario1[4]= {0x00, 0x53, 0xAA, 0x59} ;
byte Usuario2[4]= {0x12, 0x7A, 0xFD, 0x1E} ;
byte Usuario3[4]= {0x7B, 0x80, 0xA9, 0x1B} ;
byte Usuario4[4]= {0XA3, 0x5B, 0x3B, 0x1A} ;
byte Usuario5[4]= {0x18, 0xBD, 0xAA, 0x59} ;
byte Usuario6[4]= {0x2A, 0x58, 0xAB, 0x59} ;
byte Usuario7[4]= {0x93, 0x8D, 0x32, 0x1A} ;
byte Usuario8[4]= {0x5B, 0x4C, 0XA8, 0x1B} ;
byte Usuario9[4]= {0x8B, 0x5E, 0xAE, 0x1B} ;

void loop() {
  int lectura = digitalRead(sensor);
  digitalWrite(led, lectura);
```



```

if (lectura == HIGH){
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("SPOT 1 VACIO");
  delay (1000);
}

if ( mfrc522.PICC_IsNewCardPresent())
{
  //Seleccionamos una tarjeta
  if ( mfrc522.PICC_ReadCardSerial())
  {
    Serial.print(F("Card UID:"));
    for (byte i = 0; i < mfrc522.uid.size; i++)
    {
      Serial.print(mfrc522.uid.uidByte[i] < 0x10 ? " 0" : " ");
      Serial.print(mfrc522.uid.uidByte[i], HEX);
      ActualUID[i]=mfrc522.uid.uidByte[i];
    }
    Serial.print(" ");

    if(compareArray(ActualUID,Usuario1))
    {
      Serial.println("FAC4482");
      lcd.clear();
      lcd.setCursor(0, 0);
      lcd.print("SPOT 1 OCUPADO");
      lcd.setCursor(0, 1);
      lcd.print("B206 FAC4482");
    }
    else if(compareArray(ActualUID,Usuario2))
    {
      Serial.println("FAC4567");
      lcd.clear();
      lcd.setCursor(0, 0);
      lcd.print("SPOT 1 OCUPADO");
      lcd.setCursor(0, 1);
      lcd.print("TH67 FAC4567");
    }
    else if(compareArray(ActualUID,Usuario3))
    {
      Serial.println("FAC4004");
      lcd.clear();
      lcd.setCursor(0, 0);
      lcd.print("SPOT 1 OCUPADO");
    }
  }
}

```

```

    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("B212 FAC4004");
}
else if(compareArray(ActualUID,Usuario4))
{
    Serial.println("FAC4010");
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("SPOT 1 OCUPADO");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("B212 FAC4010");
}
else if(compareArray(ActualUID,Usuario5))
{
    Serial.println("FAC4527");
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("SPOT 1 OCUPADO");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("HUEYII FAC4527");
}
else if(compareArray(ActualUID,Usuario6))
{
    Serial.println("FAC4207");
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("SPOT 1 OCUPADO");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("UH1H FAC4207");
}
else if(compareArray(ActualUID,Usuario7))
{
    Serial.println("FAC4572");
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("SPOT 1 OCUPADO");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("TH67 FAC4572");
}
else if(compareArray(ActualUID,Usuario8))
{
    Serial.println("FAC4470");
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("SPOT 1 OCUPADO");

```

```

        lcd.setCursor(0, 1);
        lcd.print("B206 4470");
    }
    else if(compareArray(ActualUID,Usuario9))
    {
        Serial.println("FAC4214");
        lcd.clear();
        lcd.setCursor(0, 0);
        lcd.print("SPOT 1 OCUPADO");
        lcd.setCursor(0, 1);
        lcd.print("OH13 FAC4214");
    }

    else
    {
        lcd.clear();
        lcd.setCursor(0, 0);
        lcd.print("SPOT 1 OCUPADO");
        lcd.setCursor(0, 1);
        lcd.print("AERONAVE SIN ID");
    }
    mfr522.PICC_HaltA();
}
}
}

```

```

boolean compareArray(byte array1[],byte array2[])
{
    if(array1[0] != array2[0])return(false);
    if(array1[1] != array2[1])return(false);
    if(array1[2] != array2[2])return(false);
    if(array1[3] != array2[3])return(false);
    return(true);
}

```

Anexo 5

Código arduino para programar el sistema del spot 2

```
#include <SPI.h>
#include <MFRC522.h>
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
LiquidCrystal_I2C lcd (0x27, 16, 2);
#define RST_PIN 9
#define SS_PIN 10
MFRC522 mfrc522(SS_PIN, RST_PIN);
int sensor = 2;
int led = 8;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  SPI.begin();
  mfrc522.PCD_Init();
  Serial.println("SISTEMA DE IDENTIFICACIÓN ELECTRÓNICA PARA ASIGNACIÓN
DE PUNTOS DE PARQUEO DE AERONAVES");
  pinMode(sensor, INPUT);
  pinMode(led, OUTPUT);
  Wire.begin();
  lcd.begin(16, 2);
  lcd.clear();
  lcd.backlight();
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("SPOT 2 VACIO");
}

byte ActualUID[4];
byte Usuario1[4]= {0x00, 0x53, 0xAA, 0x59} ;
byte Usuario2[4]= {0x12, 0x7A, 0xFD, 0x1E} ;
byte Usuario3[4]= {0x7B, 0x80, 0xA9, 0x1B} ;
byte Usuario4[4]= {0xA3, 0x5B, 0x3B, 0x1A} ;
byte Usuario5[4]= {0x18, 0xBD, 0xAA, 0x59} ;
byte Usuario6[4]= {0x2A, 0x58, 0xAB, 0x59} ;
byte Usuario7[4]= {0x93, 0x8D, 0x32, 0x1A} ;
byte Usuario8[4]= {0x5B, 0x4C, 0xA8, 0x1B} ;
byte Usuario9[4]= {0x8B, 0x5E, 0xAE, 0x1B} ;

void loop() {
  int lectura = digitalRead(sensor);
```

```

digitalWrite(led, lectura);
if (lectura == HIGH){
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("SPOT 2 VACIO");
  delay (1000);
}

if ( mfrc522.PICC_IsNewCardPresent())
{
  //Seleccionamos una tarjeta
  if ( mfrc522.PICC_ReadCardSerial())
  {
    Serial.print(F("Card UID:"));
    for (byte i = 0; i < mfrc522.uid.size; i++)
    {
      Serial.print(mfrc522.uid.uidByte[i] < 0x10 ? " 0" : " ");
      Serial.print(mfrc522.uid.uidByte[i], HEX);
      ActualUID[i]=mfrc522.uid.uidByte[i];
    }
    Serial.print(" ");

    if(compareArray(ActualUID,Usuario1))
    {
      Serial.println("FAC4482");
      lcd.clear();
      lcd.setCursor(0, 0);
      lcd.print("SPOT 2 OCUPADO");
      lcd.setCursor(0, 1);
      lcd.print("B206 FAC4482");
    }
    else if(compareArray(ActualUID,Usuario2))
    {
      Serial.println("FAC4567");
      lcd.clear();
      lcd.setCursor(0, 0);
      lcd.print("SPOT 2 OCUPADO");
      lcd.setCursor(0, 1);
      lcd.print("TH67 FAC4567");
    }
    else if(compareArray(ActualUID,Usuario3))
    {
      Serial.println("FAC4004");
      lcd.clear();
      lcd.setCursor(0, 0);

```

```

    lcd.print("SPOT 2 OCUPADO");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("B212 FAC4004");
}
else if(compareArray(ActualUID,Usuario4))
{
    Serial.println("FAC4010");
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("SPOT 2 OCUPADO");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("B212 FAC4010");
}
else if(compareArray(ActualUID,Usuario5))
{
    Serial.println("FAC4527");
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("SPOT 2 OCUPADO");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("HUEYII FAC4527");
}
else if(compareArray(ActualUID,Usuario6))
{
    Serial.println("FAC4207");
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("SPOT 2 OCUPADO");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("UH1H FAC4207");
}
else if(compareArray(ActualUID,Usuario7))
{
    Serial.println("FAC4572");
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("SPOT 2 OCUPADO");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("TH67 FAC4572");
}
else if(compareArray(ActualUID,Usuario8))
{
    Serial.println("FAC4470");
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);

```

```

        lcd.print("SPOT 2 OCUPADO");
        lcd.setCursor(0, 1);
        lcd.print("B206 4470");
    }
    else if(compareArray(ActualUID,Usuario9))
    {
        Serial.println("FAC4214");
        lcd.clear();
        lcd.setCursor(0, 0);
        lcd.print("SPOT 2 OCUPADO");
        lcd.setCursor(0, 1);
        lcd.print("OH13 FAC4214");
    }

    else
    {
        lcd.clear();
        lcd.setCursor(0, 0);
        lcd.print("SPOT 2 OCUPADO");
        lcd.setCursor(0, 1);
        lcd.print("AERONAVE SIN ID");
    }
    mfr522.PICC_HaltA();
}
}

}

boolean compareArray(byte array1[],byte array2[])
{
    if(array1[0] != array2[0])return(false);
    if(array1[1] != array2[1])return(false);
    if(array1[2] != array2[2])return(false);
    if(array1[3] != array2[3])return(false);
    return(true);
}

```

Anexo 6

Video de Funcionamiento del prototipo a escala con sistema de identificación electrónica para asignación de puntos de parqueo de aeronaves

<https://youtu.be/TAxY69Yz5MM>